

WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI  
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

KANAŁ OPTYCZNY TRANSMISJI  
DANYCH DLA URZĄDZEŃ PRZENOŚNYCH  
MAKSYMALIZACJA PRZEPUSTOWOŚCI

ARKADIUSZ LEWANDOWSKI  
NR INDEKSU: 208836

Praca inżynierska napisana  
pod kierunkiem  
Dr. inż. Łukasza Krzywieckiego



Politechnika  
Wrocławska

WROCŁAW 2016



# Spis treści

<b>Wstęp</b>	<b>4</b>
<b>1 Analiza problemu</b>	<b>5</b>
1.1 Założenia teoretyczne . . . . .	9
1.1.1 Urządzenia . . . . .	10
1.1.2 Odbieranie . . . . .	10
1.1.3 Nadawanie . . . . .	11
<b>2 Projekt systemu</b>	<b>13</b>
2.1 Struktury prototypu . . . . .	13
<b>3 Implementacja systemu</b>	<b>23</b>
3.1 Opis technologii . . . . .	23
3.2 Omówienie kodów źródłowych . . . . .	23
<b>4 Testy</b>	<b>29</b>
4.1 Przepustowości nadawania . . . . .	29
4.2 Możliwości techniczne transmisji danych w praktyce . . . . .	44
4.3 Testy prototypu i dyskusja . . . . .	45
<b>5 Podsumowanie</b>	<b>47</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>53</b>
<b>A Zawartość płyty CD</b>	<b>55</b>



# Wstęp

Praca swoim zakresem obejmuje zagadnienia bezprzewodowej wymiany danych pomiędzy urządzeniami przenośnymi bez wykorzystania infrastruktury sieciowej. Poprzez infrastrukturę sieciową rozumie się tutaj infrastrukturę sieci bezprzewodowych realizowanych za pomocą standardu IEEE 802.11\*, w ramach których urządzenia wymieniające się danymi muszą być podłączone do tej samej sieci. Brak wykorzystania infrastruktury zakłada, że urządzenia łączą się ze sobą w ramach sieci „ad-hoc” w kanałach elektromagnetycznych. (Bluetooth, IrDA, NFC) lub kanałach alternatywnych- dźwiękowych za pomocą modulacji sygnału bądź kanału optycznego. Z racji tego, że współczesne smartfony posiadają kamery i urządzenia rejestrujące, w pracy tej rozważa się kanał optyczny. Celem pracy będzie zbadanie efektywności przesyłania danych za pomocą kanału optycznego, ergonomia nawiązywania połączenia oraz przepustowość transmisji (teoretyczna przepustowość wynikająca z teoretycznych ograniczeń oraz z ograniczeń wynikających z programistycznych implementacji). Szczegółowymi celami pracy są

- ocenienie maksymalnej przepustowości
- projekt systemu do przesyłania danych w kanale optycznym z wykorzystaniem technologii QR kodów jako nośnika zakodowywanych bitów po stronie nadawczej i odbiorczej
- implementacja projektu na platformie iOS z wykorzystaniem bibliotek standardowych lub łatwo dostępnych na wszystkich platformach marki Apple.
- przeprowadzenie testów weryfikujących przepustowość uzyskaną z przepływności, która została wyliczona

Istnieje szereg aplikacji wykorzystujących kody QR do potwierdzania tożsamości obiektów, przy czym ich przeznaczenie zakłada statyczność kodów oraz brak interakcji z urządzeniem czytającym. Natomiast aplikacje wykorzystujące kody te do wymiany danych lub do szybkiego ich czytania nie ma wielu. Warto zatem przyjrzeć się scenariuszom, w których mogłyby ułatwiać codzienne czynności.

Obiekt indentyfikujący się takim kodem może być *statyczny*, w rozumieniu, że nie wymaga on mocy obliczeniowej. Raz wygenerowana sekwencja QR kodów może przedstawiać zbiór danych, co można wykorzystać jako tworzenie fizycznych kopii zapasowych dokumentów, które mogłyby w prosty sposób być czytane za pomocą urządzenia elektronicznego. Takim rozwiązaniem można zapobiec utracie cyfrowych danych przez czynniki zewnętrzne oraz uszkodzenia złośliwym oprogramowaniem, drukując wygenerowane dane i tym samym oddzielić informacje od sieci, wciąż mając do niej łatwy dostęp. Urzędy przechowujące dane o obywatelach mogą wydrukować wszystkie potrzebne informacje o nich i przechowywać bezpiecznie, zachowując przy tym łatwość ich ponownego wczytania. Zapewniając sobie tym samym bezpieczeństwo



danych i brak ingerencji ze strony cyfrowej. Przechowywanie i wczytywanie faktur mogłoby stać się o wiele szybsze i bezpieczniejsze. Użytkownik nie musiałby jej pobierać, a jedynie nakierować urządzenie czytające na monitor lub fizyczny wydruk i miałby dostęp do swoich danych. W tym przypadku naszą uwagę może zwrócić zagrożenie często omawiane przy temacie kodów QR i ich czytania. Problemem może się okazać złośliwy kod wstrzyknięty w naszą sekwencję QR, jednakże nie uruchamiając czytanych symboli, a jedynie wyświetlając je odkodowane, blokujemy jedną z dwóch dróg ataku (zobacz [3]). Druga natomiast, często nazywana przepełnieniem bufora, jest wyeliminowana przez możliwość techniczną urządzenia. Dla kodu QR pojedynczy symbol nie przekracza 3000 bajtów - mieści się on zatem w zwykłej zmiennej typu *String* (zobacz [1]).

Brak możliwości wymiany danych za pomocą kabli lub komunikacji radiowej. W takim przypadku użytkownik mógłby wygenerować na swoim urządzeniu ciąg danych, które w sposób jednoznaczny i dekodowalny przedstawiałyby plik lub ciąg znaków, do odczytania przez inne urządzenie. Użytkownik minimalizuje ryzyko wycieku danych w sieci oraz uniezależnia się od platformy, którą miałby te dane przesłać. Weźmy przykład, w którym użytkownik nie ma dostępu do sieci oraz jego urządzenia nie są w stanie połączyć się za pomocą takich technologii jak bluetooth, wifi lub nawet USB oraz platformy nie przewidują komunikacji z innymi urządzeniami spoza swojej marki. W takim przypadku komunikacja za pomocą standardowych QR kodów może zostać alternatywnym kanałem transmisji danych. Sytuacja ta pokazuje także, że użytkownicy tej techniki są niezależni od infrastruktury takich cyfrowych technologii jak telefoniczna sieć komórkowa.

Praca ta ma za zadanie pokazać, że efektywna transmisja za pomocą kodów QR jest możliwa oraz nie wymaga dodatkowej infrastruktury, co umożliwia wykorzystanie w warunkach polowych bez uprzedniego przygotowania.

Projekt jako całość zakłada kolejno:

- W rozdziale pierwszym zostaje omówiony problem i jego teoretyczne rozwiązanie. Następnie w jego podrozdziałach zostają omówione założenia teoretyczne samej transmisji danych.
- W drugim rozdziale przedstawiony jest projekt prototypu aplikacji, która spełnia wymagania teoretycznego rozwiązania problemu.
- W trzecim rozdziale jest budowa aplikacji od podstaw wraz z oceną możliwości programistycznych, takich jak obsługa wątkowości dla pojedynczego urządzenia wejścia - kamery, a także ograniczenia wynikające ze wspólnego czytania/nadpisywania pamięci. Zostają także omówione biblioteki i wzorce projektowe użyte/odrzucone w aplikacji. Czytelnik zostaje wprowadzony w świat optymalizacji aplikacji mobilnej pod względem zmniejszenia wykorzystania pamięci podręcznej.
- W czwartym zostają przeprowadzone badania na różnych urządzeniach mobilnych, platformy iOS. Uwzględniając szybkości procesorów i możliwości interakcji z kartą graficzną przez bibliotekę AVFoundation. Zostają także zaprezentowane i omówione jednokierunkowe transfery: osobno z punktu widzenia nadającego i odbierającego urządzenia, a także perspektywa komunikacji między urządzeniami za pomocą kamer niższej rozdzielczości. W tym rozdziale pojawiają się też wykresy osiągniętych zakresów dla poszcze-

gólnych urządzeń i ich specyfikacji, takich jak rozdzielczość, częstotliwość odświeżania ekranu oraz nagrywania.

- W piątym - ostatnim - podsumowywane są wszystkie aspekty pracy w sposób uogólniony i następuje próba oceny możliwości urządzeń w niedalekiej przyszłości oraz przypadki użycia alternatywnego kanału w komunikacji bez interferencji.





# 1 Analiza problemu

W tym rozdziale przedstawiana jest analiza problemu transmisji danych QR kodami oraz rozważania nad jego podproblemami. (zobacz [5]). Najpierw zostaje omówiony nośnik danych - kod QR, następnie sposoby i rozważania nad jego użyciem. Przeanalizowanie wymogów jakie musiałaby spełniać aplikacja umożliwiająca zbadanie parametrów maksymalizujących przepustowość kanału.

## Problem

W celu maksymalizacji przepustowości w pracy analizuje się różne czynniki optymalizacji wymiany danych. W przypadku transmisji takim kanałem alternatywnym jak kanał optyczny, szczególnymi czynnikami są przede wszystkim możliwości ustalonego nośnika, algorytmów używanych w jego eksploatacji oraz parametrów technicznych urządzeń, na których jest on wykorzystywany. W tym badaniu wybranym nośnikiem jest kod QR.

## Kod QR

W CZERWCU 2000 ROKU ORGANIZACJA ISO WŁĄCZYŁA KOD QR JAKO STANDARD ISO/IEC18004. W porównaniu z konwencjonalnym kodem kreskowym, kod QR jest w stanie zawrzeć w sobie od kilkudziesięciu do kilkuset razy więcej informacji. Przez swoją budowę i sposób kodowania - można w nim przechować dane w dowolnej postaci cyfrowej. Główną zaletą jest to, że pojedynczy kod QR jest w stanie reprezentować sobą 7,089 cyfr albo 4,296 alfranumerycznych symboli, albo 2,953 bajtów lub 1,817 znaków Kanji/ pełnej szerokości Kanę. Kod QR posiada zdolność korekcji błędów. Zatem dane zatracone w wyniku częściowego przysłonięcia lub zniszczenia - mogą zostać odzyskane. Maksymalnie każdy pojedynczy QR jest w stanie zakodować 30% danych korekcyjnych ze wszystkich bajtów sobą reprezentowanych w postaci słów kodowych. (zobacz [4])

W pojedynczym kodzie modułami, z których się on składa, nazywamy kwadraty przybierające jeden z dwóch kolorów- biały lub czarny. Zbiory modułów na kodzie tworzą słowa kodowe, które przedstawiają informacje jako poszczególne znaki. Wygląd pojedynczego kodu jest zależny od jego wersji. Odróżniamy je na podstawie poziomu korekcji błędów oraz ilości danych w nich zapisanych.

W odczytywaniu kodów QR wykorzystuje się wzór wyszukiwania umożliwiający czytnikowi odnalezienie poszczególnych miejsc w QR kodzie, względem których odczytywane są pozostałe jego części. W pierwszej kolejności wyszukiwane są duże moduły [4.1], które muszą być



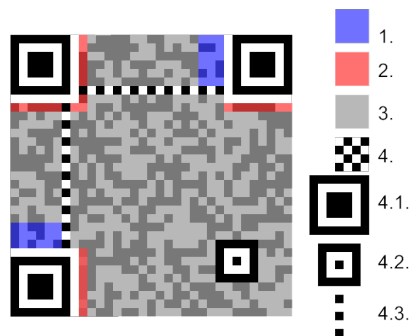
oddzielone od krawędzi całego kodu białą ramką szerokości co najmniej jednego modułu. Kolejnym szukanym wzorcem jest [4.3] wzór synchronizacji, który pozwala na określenie wersji, gęstości oraz współrzędnych poszczególnych danych zapisanych w kodzie. Kolejnym szukanym elementem jest lub są tzw. wyrównania [4.2]. Może ich być wiele w zależności od ilości danych zapisanych w QR. Na podstawie [2.] można ustalić wielkość kodu, a ilość danych w obszarze [1.] wskazuje na wersję QR kodu, gdyż jest ona zależna od maskowania i ilości danych. [3.] prezentują dane i korekcję błędów dla tych danych.

Kody QR są w pewnym sensie odporne na zniszczenia i przesłonięcia. Zawdzięczają to korekcji błędów, która duplikuje dane w nich zawarte. Dotyczy to jednak szczególnych miejsc. Słowo kodowe w przypadku kodu QR ma długość 8 bitów, więc jeśli zniszczenie dotknie wszystkich powtórzeń tego słowa- kod nie zostaje odczytany.

QR są czytelne pod każdym kątem obrotu w osi prostopadłej do płaszczyzny na której znajdują.

Kolejną zaletą jest możliwość podziału zbyt dużego symbolu na mniejsze, przy jednoczesnym zachowaniu danych. Ta własność w tej pracy jest wykorzystywana jako sposób optymalizacji transmisji w kanale optycznym.

Cechą szczególną kodów QR jest mechanizm maskowania, który powoduje, że średnia kolorów na dowolnych obszarach złożonych z modułów jest sobie jak najbliższa. Przez takie zrównoważenie występowania białych i czarnych modułów wzrasta szybkość odszukiwania i dekodowania obrazów przez skanery.



Rysunek 1.1: Schemat kodu QR

Na rysunku przedstawiono:

1. Informacja o wersji
2. Informacja o formatowaniu
3. Dane i korekcja błędów
4. Wzorce:
  - 4.1. Pozycje
  - 4.2. Wyrównanie
  - 4.3. Chronometraż

Sposoby użycia: Kod QR można wykorzystać jako nośnik danych na kilka różnych sposobów.

Przedstawienie wielu kodów QR tej samej wielkości, przy czym każdy z nich będzie zawierał jak najwięcej danych. Implikuje to sporej wielkości kody.

Generowanie pomniejszych kodów QR tej samej wielkości, które pozwalają na jednoczesną prezentację ich większej ilości na jednym ekranie.

Generowanie przemiennych kodów QR, losowej wielkości. Pozwoli to stworzyć dla urządzenia czytającego tzw kontrast i zmusi je do ponownego wyszukiwania położenia QR na ekranie.

Wymagania funkcjonalne: Do rozwiązania problemu wymagana jest aplikacja, która spełniałaby następujące wymagania:

- Urządzenie nadające tłumaczy plik na ciągi znaków, by następnie wyświetlić je jako kody QR.
- Urządzenie odbierające za pomocą wbudowanej kamery odbiera przesyłane dane, zapisując obraz z wyświetlacza urządzenia nadającego i następnie z pojedynczych klatek transmisji odczytuje kody QR.

Aplikacja w trybie nadawania musi pozwalać na modyfikacje takich cech jak:

- czas między kolejnymi sekwencjami QR
- wielkość samych QR kodów
- ilość QR kodów na ekranie i wątków

Aplikacja w trybie odbierania musi zmaksymalizować względem czytania danych następujące:

- nagrywanie z maksymalną dostępną szybkością
- nagrywanie z maksymalną dostępną rozdzielczością



## 1.1 Założenia teoretyczne

Ten podrozdział został przeznaczony na rozważania nad problemem samej transmisji, nie uwzględnia on przeszkód wynikających ze specyfikacji samej platformy, na której realizowany jest projekt.

Problemem przeprowadzanego badania jest szukanie optymalnych parametrów dla urządzeń w komunikacji, którego znalezienie wymaga wstępnych założeń i zbadania ich poprawności empirycznie. Urządzenia mobilne korzystające natywnie ze swoich komponentów, takich jak karta graficzna lub procesor, posiadają ograniczenia specyfikacji. Rozdzielczość wraz z częstotliwością odświeżania wyświetlacza nie są jedynymi składowymi problemu. Urządzenie nie umożliwia pełnego wykorzystania jego komponentów pojedynczej aplikacji, ale również zależnie od ilości zainstalowanych aplikacji korzystających z procesora w tle - wydajność testowanego oprogramowania spada. Zatem potrzebne są techniki zmian kolejkovania zadań platformy, by zminimalizować użycie podzespołów dla procesów rozpraszających pracę testowanej aplikacji. Kolejnym niezbędnym do rozstrzygnięcia problemem jest ten leżący między urządzeniami komunikującymi się - widoczność sekwencji kodów. Jako, że aplikacja nadająca może przyjąć, że jest w stanie nadawać z maksymalną przepustowością na największej dostępnej jej rozdzielczości, to z kolei odbierająca nie gwarantuje, że w jej kadrze znajdują się wszystkie kraty z kodami, ale również odwrotna sytuacja może mieć miejsce. Kamera urządzenia powinna nagrywać z maksymalną dostępną jej rozdzielczością i maksymalną ilością klatek na sekundę. Wynika to z tego, że urządzenie odbierające nie jest w stanie przewidzieć z jaką częstotliwością będzie nadawało urządzenie nadające. Jeśli byłoby to możliwe od razu, to można by założyć, że dwukrotna przewaga częstości odbierania wystarczy do tego zadania (zobacz [2]).

Problem nie jest trywialny, gdyż po nawiązaniu połączenia, rozumianego tutaj jako odnalezienie punktów skupiających QR kody, należy rozróżnić kiedy transfer będzie większy. Większy w rozumieniu ilości danych przesłanych w określonej jednostce czasu. Dobranie parametrów by zmaksymalizować przepustowość jest jednak trudne do osiągnięcia, gdyż przy niewiele mniejszej rozdzielczości - ilość klatek na sekundę może wzrosnąć prawie dwukrotnie. Mając na względzie powyższe utrudnienia należy przyjąć, że osiągnięte wyniki będą optymalnymi tylko na urządzeniach tutaj wykorzystanych - wciąż zakładając, że ich producent nie wprowadził w nich zmian *w trakcie* lub *po* przeprowadzeniu tych badań.



### 1.1.1 Urządzenia

Urządzenia wybrane na docelową serię badań zostały dobrane ze względu na trzy aspekty.

Pierwszym jest ich wyświetlacz retina. Jego zaletą w badaniu jest wysoka gęstość pikseli, dzięki której możliwe jest zbadanie przypadku dla dużej ilości małych QR kodów oraz małej ilości dużych QR kodów.

Drugim aspektem jest zróżnicowanie procesora i jego zintegrowanej karty graficznej. Pozwala to na ustalenie czy odekodowanie kodu po jego znalezieniu wymaga dużego nakładu pracy.

Trzecim rodzaj kamery, tzn. ilość klatek na sekundę oraz jej rozdzielczość. Dobór odpowiedniego urządzenia czytającego pozwala w naturalny sposób zwiększyć ilość danych w transmisji.

Wybrane zostały urządzenia mobilne, by wskazać, że dziś każdy użytkownik ogólnodostępnej technologii jest w stanie wymieniać się danymi z innymi użytkownikami bez względu na platformę czy typ urządzenia.

## Parametry urządzeń

Przedstawione tutaj dane dotyczą parametrów nagrywania i wyświetlania są dostępne w specyfikacji urządzeń marki Apple, z dnia 2 lipca 2016 roku.

model	ppx <sub>max</sub> (przód)	ppx <sub>max</sub> (tył)	fps <sub>min</sub>	fps <sub>max</sub>
iPhone 5c	720	1080	30	60
iPhone 5s	720	1080	30	120
iPhone 6	720	1080	30	240
iPhone 6s	720	4K	30	240
iPhone SE	720	4K	30	240

### 1.1.2 Odbieranie

Przepustowością odbierania danych dla wybranych urządzeń mobilnych jest ich maksymalna ilość klatek na sekundę czytanych przez kamerę (tylną), na co nałożony jest czas potrzebny na odczytanie pojedynczego symbolu QR z klatek. Przyjmując, że algorytm używany przez Apple w AVFoundation framework jest algorytmem optymalnym dla testowanej platformy. Biorąc pod uwagę, iż pojedyncze klatki obrazu są chwymane i dopiero na nich odszukiwany jest symbol QR oraz następuje jego dekodowanie, można zauważyć, że wciąż istnieje problem po stronie nadającego. Jest nim jego sposób odświeżania ekranu. Może się okazać, że kod QR w momencie chwytania klatki kamerą natrafia już na obraz w jakiejś części złożony z dwóch symboli, zamiast jednego.

### 1.1.3 Nadawanie

Wyświetlanie kodów QR jest procedurą wymagającą zgrania z wyświetlaniem. Platforma *iOS* nie pozwala na prezentację grafiki nie będącej w całości załadowanej do pamięci podręcznej, zatem można przyjąć pierwszy problem za rozstrzygnięty. Kolejną kwestią do rozważenia jest sposób postrzegania kodów QR przez urządzenie odbierające. Jako wysyłający nie możemy spowodować, że urządzenie odbierające przestanie zauważać kody QR lub nie będzie w stanie ich odczytać przez zbyt małą dokładność ich prezentacji. Zatem kody QR muszą mieć rozsądną wielkość, czytelną z takiej odległości, która zapewniałaby najlepszy transfer.



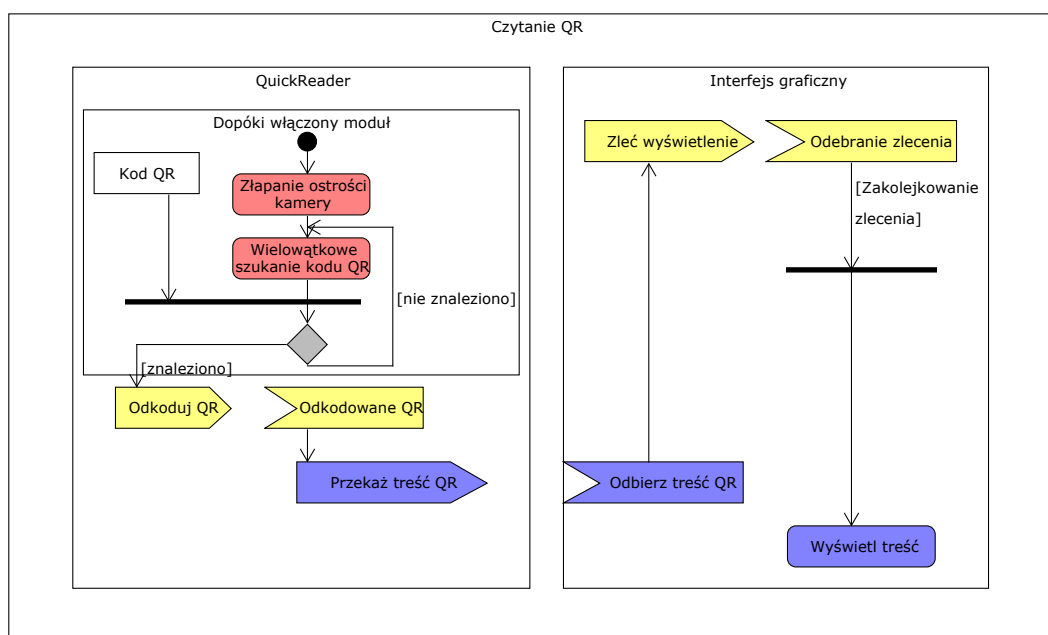


## 2 Projekt systemu

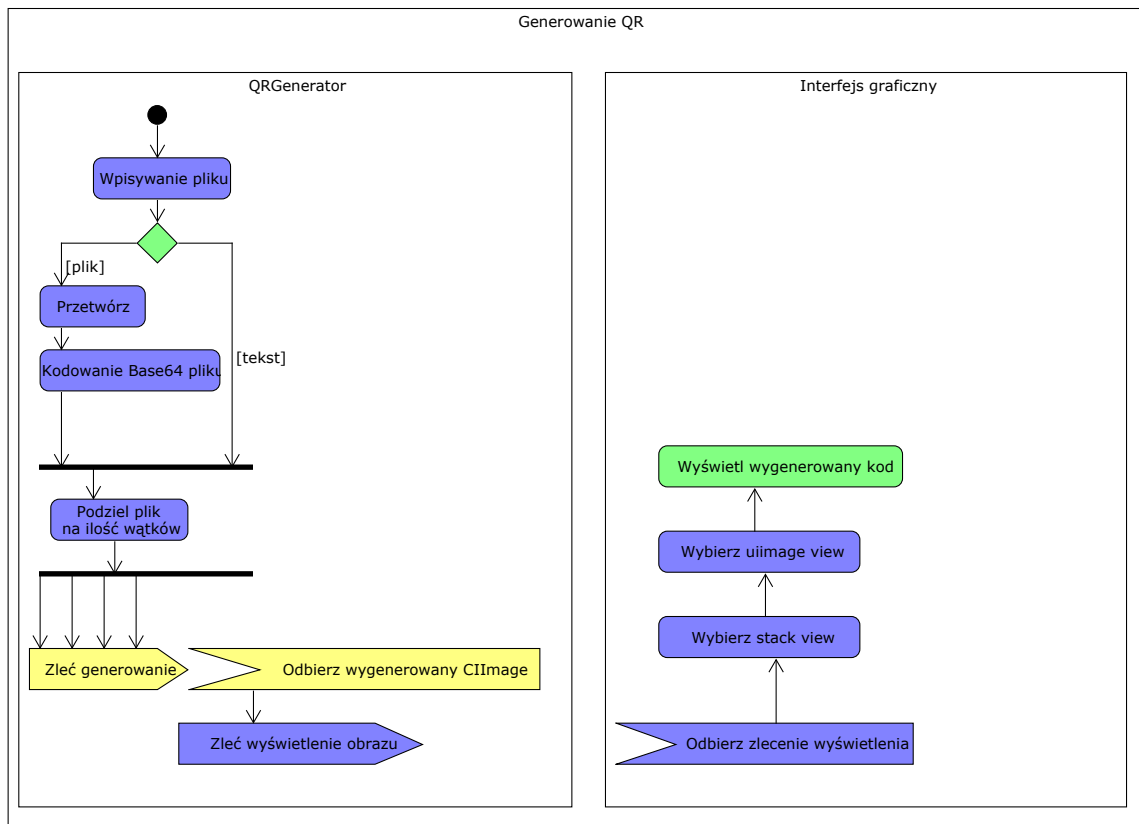
Ten rozdział przedstawia szczegółowy projekt aplikacji w notacji UML, uwzględnia on założenia funkcjonalne opisane w rozdziale 1.1. Opis relacji między składowymi systemu wyrażono diagramami.

### 2.1 Struktury prototypu

#### Diagramy aktywności

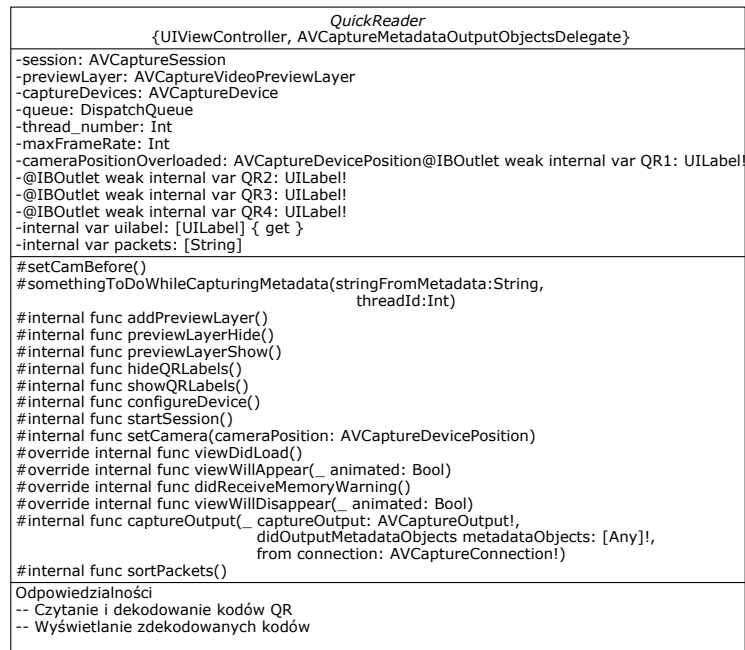


Rysunek 2.1: Diagram przedstawia aktywności wykonywane w trakcie czytania kodów QR.



Rysunek 2.2: Diagram przedstawia aktywności wykonywane w trakcie generowania kodów QR z pliku.

## Diagramy klas

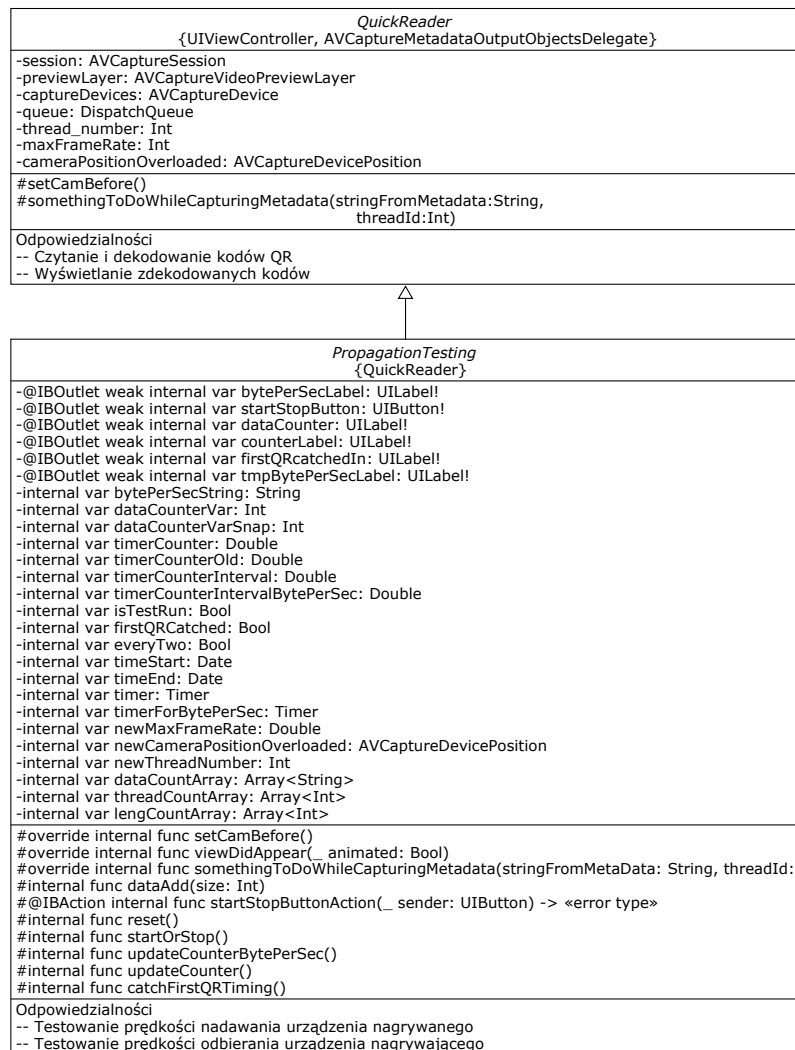


Rysunek 2.3: Diagram przedstawia moduł klasy QuickReader, służącej do szybkiego czytania kodów QR. Klasa wykorzystuje rozproszenie pracy na cztery wirtualne wątki.



<div> <div>QRCodeGeneratorViewController</div> <div>{UIViewController, UIDocumentPickerDelegate}</div> </div>
<pre> -internal var qrcodeImage: CIImage! -internal var target: String -internal var thread_number: Int -internal var text_spread: Int -internal var stepDelay: Double -internal var dataObjects: Int -internal var swBool: Bool -internal var queue: «error type» -internal var queuedWorkItem: DispatchWorkItem! -internal var queuedQRs: «error type» -internal var iterator: Int -@IBOutlet weak internal var stackViewAll: UIStackView! -@IBOutlet weak internal var stackViewSubUp: UIStackView! -@IBOutlet weak internal var stackViewSubMid: UIStackView! -@IBOutlet weak internal var stackViewSubDown: UIStackView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode2: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode3: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode4: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode5: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var imgQRCode6: UIImageView! -@IBOutlet weak internal var textField1: UITextField! -internal var t_imgQRCodes: [UIImageView] { get } -internal var tField: [UITextField] { get }  #internal func documentPicker(_ controller: UIDocumentPickerViewController,                              didPickDocumentAt url: URL) -&gt; «error type» #internal func documentPickerWasCancelled(_ controller: UIDocumentPickerViewController  -&gt; «error type»  #override internal var prefersStatusBarHidden: Bool { get } #override internal func viewDidLoad() #override internal func viewWillAppear(_ animated: Bool) #internal func hideStackViews() #internal func showStackViews() #@IBAction internal func performButtonAction(_ sender: AnyObject) #@IBAction internal func performButtonDisplayAction(_ sender: UIButton) -&gt; «error type» #internal func start() #internal func generateQRS() #internal func generateTestGivenInString(str: String) #internal func displayQRonDisplay() #internal func displayQRCodeImage(_ imageIter: Int, qrImage: CIImage) -&gt; «error type» #override internal func prepare(for segue: UIStoryboardSegue, sender: Any?) -&gt; «error ty </pre>
<p>Odpowiedzialności</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-- Pobieranie pliku do zakodowania z pamięci urządzenia</li> <li>-- Zakodowanie przygotowanych danych jako sekwencję kodów QR</li> </ul>

Rysunek 2.4: Diagram przedstawia moduł klasy QRCodeGeneratorViewController, służącą do generowania sekwencji kodów QR na wyświetlaczu urządzenia.

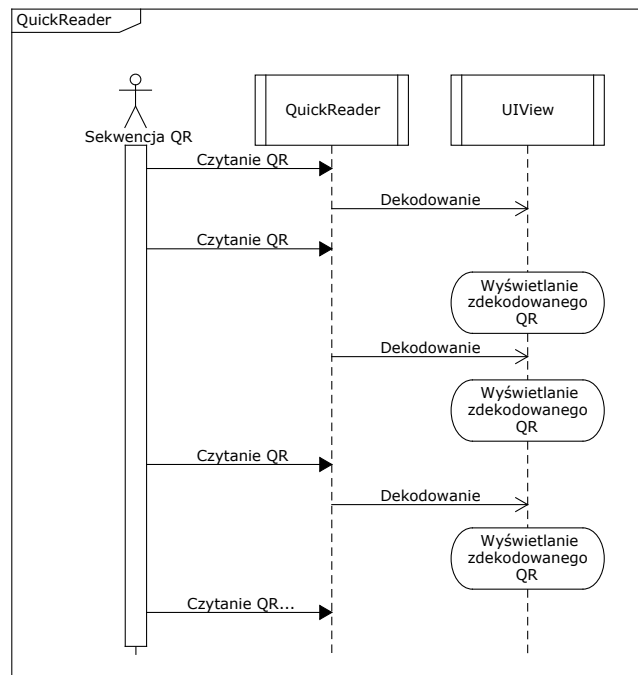


Rysunek 2.5: Diagram przedstawia moduł klasy PropagationTesting. Klasa ta testuje prędkości nadawania urządzenia zewnętrznego, które jest czytane przez aplikację uruchomioną na aparacie testującym.

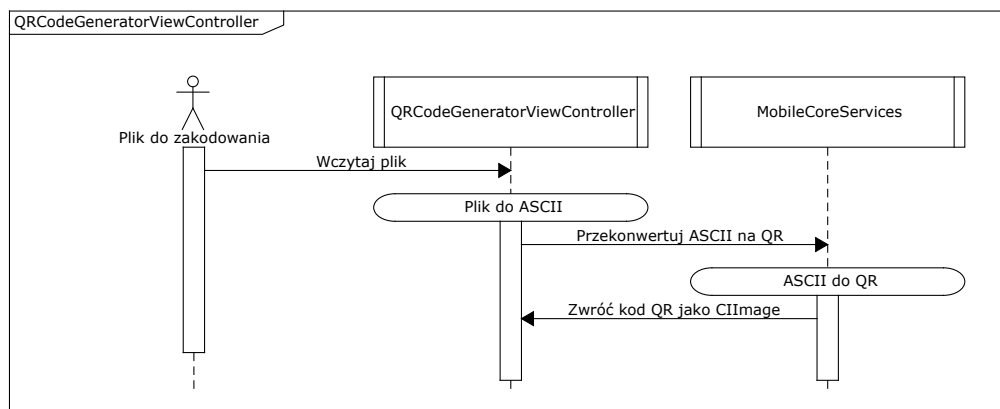


Rysunek 2.6: Diagram przedstawia moduł klasy KeyExchanger, której zadaniem jest wymiana klucza między dwoma urządzeniami. Moduł ten wykorzystuje wszystkie generyczne klasy aplikacji.

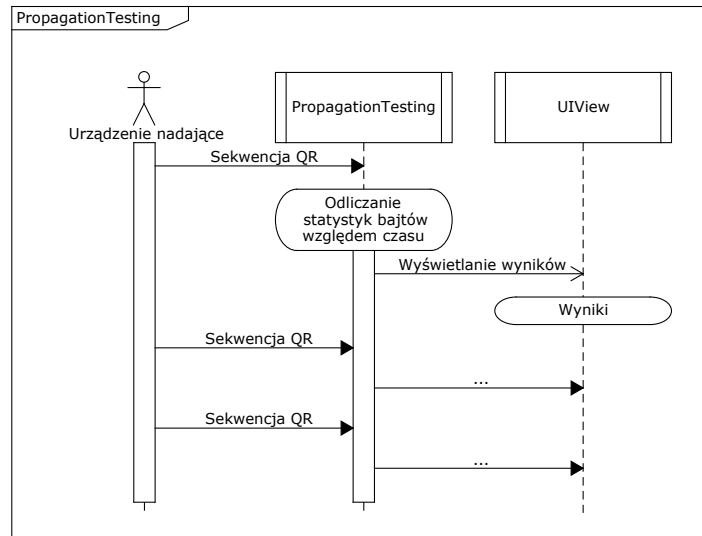
## Diagramy sekwencji



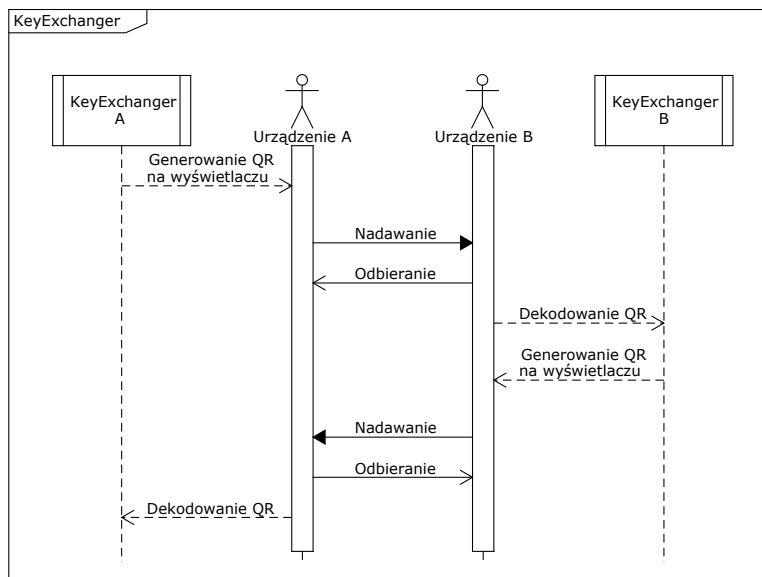
Rysunek 2.7: Diagram przedstawia sekwencję akcji wykonywanych



Rysunek 2.8



Rysunek 2.9



Rysunek 2.10





## Diagramy stanów

Rysunek 2.11

Rysunek 2.12

Rysunek 2.13

Rysunek 2.14



## 3 Implementacja systemu

### 3.1 Opis technologii

Język programowania: Swift®, wersje kolejno 2, 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.0.1.  
Apple® LLVM version 8.0.0 (clang-800.0.42.1)  
Target: x86\_64-apple-darwin15.6.0  
Thread model: posix

IDE: Xcode, wersje odpowiednio wzrastające od 7.0 (7A220) do 8.1 (8B62).  
Tak częste zmiany wynikały z dużej ilości poprawek i większych zmian w całym środowisku. Włączając w to duże zmiany w platformach zarówno *iOS* jak i *OSX*. Pisząc pracę wymagane były dwie migracje, które pomimo wielu zmian pozwoliły na zbadanie natywnych bibliotek i ich sposobów czytania kodów QR. Ostateczną wersją, która była użyta w pracy jest - 8.1 (8B62).

Biblioteki:

- UIKit framework - konstrukcja i zarządzanie interfejsem *iOS*.

Reakcje na interakcje użytkownika i wydarzenia systemowe oraz dostęp do natywnych cech urządzenia, takich jak widoki, przejścia i animacje.

- AVFoundation framework - nagrywanie, przechwytywanie sesji kamery. Framework ten zapewnia interfejs dla metod napisanych w języku Objective-C, dzięki któremu możliwe jest używanie audio-wizualnych właściwości platformy.

Wzorce: Swift® przez swą budowę wymaga użytkowania wzorca Model View Controller. Ważnym też w prototypie aplikacji był wzorzec Fasada, dzięki któremu dostępny jest zbiór strategii dla transmisji kodów QR.

Powodem wykorzystania wyżej wymienionych frameworków jest pokazanie, że każde urządzenie mobilne marki Apple, które posiada kamerę oraz wyświetlacz retina, jest w stanie za pomocą tego samego kodu źródłowego dokonać transmisji kanałem optycznym.

### 3.2 Omówienie kodów źródłowych

Kod źródłowy 65 przedstawia klasę tworzącą generyczny `view controller`, który jest wykorzystywany w implementacjach poszczególnych modułów aplikacji. Interfejs ten pozwala na uruchomienie kamery urządzenia z dowolnymi parametrami oraz umożliwia czytanie i dekodowanie kodów QR. Kompletne kody źródłowe znajdują się na płycie CD dołączonej do niniejszej pracy w katalogu Kody (patrz Dodatek A).

---

```
1 import UIKit
2 import AVFoundation
```

---



```
3 internal class QuickReader : UIViewController,
4     AVCaptureMetadataOutputObjectsDelegate {
5     /// Obiekt czytający dane z urządzeń
6     internal let session: AVCaptureSession
7     /// Powłoka przechwytyjąca oraz wyświetlająca podgląd z sesji
    urządzenia
8     internal var previewLayer: AVCaptureVideoPreviewLayer?
9     /// Interfejs przedstawiający wszystkie wejścia urządzenia
10    internal var captureDevices: AVCaptureDevice?
11    /// Kolejka do oddelegowania zadania w systemie
12    internal let queue: DispatchQueue
13    /// Kolejka do oddelegowania zadań
14    /// które niezależnie od czasu ukończenia muszą zostać wykonane
15    internal let backgroundQueue: DispatchQueue
16    /// Liczba wątków do dekodowania QR kodów
17    internal var thread_number: Int
18    /// Maksymalna ilość klatek na sekundę definiowana w poprzednim widoku
19    internal var maxFrameRate: Double
20    /// Pozycja kamery: Pozioma | Pionowa
21    internal var cameraPositionOverloaded: AVCaptureDevicePosition
22    /// Etykieta do wyświetlania zawartości zdekodowanego QR kodu
23    @IBOutlet weak internal var QR1: UILabel!
24    @IBOutlet weak internal var QR2: UILabel!
25    @IBOutlet weak internal var QR3: UILabel!
26    @IBOutlet weak internal var QR4: UILabel!
27    /// Tablica wewnętrznych Etykiet QR
28    internal var uilabel: [UILabel] { get }
29    /// Tablica zawierająca wszystkie zdekodowane QR
30    internal var packets: [String]
31    /// Dodawanie podglądu kamery do rozszerzanego view controllera
32    internal func addPreviewLayer()
33    /// Ukrywanie podglądu
34    internal func previewLayerHide()
35    /// Włączenie podglądu
36    internal func previewLayerShow()
37    /// Ukrywanie Etykiet QR
38    internal func hideQRLabels()
39    /// Włączenie Etykiet QR
40    internal func showQRLabels()
41    /// Konfiguracja urządzenia, jednokrotne na instancję
42    internal func configureDevice()
43    /// Uruchomienie sesji kamery
44    internal func startSession()
45    /// Ustawienie kamery ze zmienną pozycją
46    internal func setCamera(cameraPosition: AVCaptureDevicePosition)
47    /// Funkcja do ustawienia kamery przed pierwszym użyciem
48    internal func setCamBefore()
49    /// Standardowa funkcja po załadowaniu widoku
50    override internal func viewDidLoad()
51    /// Standardowa funkcja po ukazaniu widoku
52    override internal func viewWillAppear(_ animated: Bool)
53    /// Standardowa funkcja po otrzymaniu ostrzeżenia o braku pamięci
54    override internal func didReceiveMemoryWarning()
55    /// Standardowa funkcja po zniknięciu widoku
```

```
56     override internal func viewWillDisappear(_ animated: Bool)
57     /// Funkcja protokołu do zaimplementowania,
58     /// co instancja QuickReader ma wykonywać
59     /// podczas przeczytania przez wątek QR kodu
60     internal func somethingToDoWhileCapturingMetadata(stringFromMetadata:
String,
61                                                         threadId: Int)
62     /// Przechwytywanie meta danych z połączenia z kamerą za pomocą
delegacji
63     internal func captureOutput(_ captureOutput: AVCaptureOutput!,
64                                didOutputMetadataObjects metadataObjects:
[Any]!,
65                                from connection: AVCaptureConnection!)
66     /// Sortowanie pakietów wedle zaimplementowanego protokołu transmisji
danych
67     internal func sortPackets()
68 }
```

---

Kod źródłowy 3.1: Szybkie czytanie kodów QR: QuickReader.

Klasa `QuickReader` służy jako generyczny model widoku, który posiada podgląd obrazu z kamery. Klasa ta jest delegatem `AVCaptureMetadataOutputObjects`. Oznacza to, że wszystkie metadane przechwycone przez skonfigurowaną pod konkretny rodzaj, tutaj kod QR, trafiają do klasy `QuickReader`, do funkcji `captureOutput(...)`. Konfigurację kamery pominięto w objaśnieniach z powodu możliwych zmian w implementacji przy kolejnych aktualizacjach całej platformy *iOS*. `QuickReader` zbiera teksty kodów QR w formie tablicy pakietów, które następnie wedle określonego protokołu w funkcji `sortPackets()` mogą zostać scalone w plik wynikowy.

Kod źródłowy 69 przedstawia opisy poszczególnych metod interfejsu: `QRCodeGeneratorViewController`. Kompletne kody źródłowe znajdują się na płycie CD dołączonej do niniejszej pracy w katalogu Kody (patrz Dodatek A).

---

```
1 import UIKit
2 import MobileCoreServices
3
4 internal class QRCodeGeneratorViewController : UIViewController,
5                                             UIDocumentPickerDelegate {
6     /// Inicjalizator generowanych QR kodów
7     internal var qrcodeImage: CIImage!
8     /// Zmienna przyjmująca tekst do przedstawienia jako QR kod
9     internal var target: String
10    /// Aktualna ilość wątków w generowaniu QR
11    internal var thread_number: Int
12    /// Co ile symboli ma być generowany QR kod
13    internal var text_spread: Int
14    /// Krok czasu do rozpoczęcia generacji kolejnego QR kodu
15    internal var stepDelay: Double
16    /// Licznik ile obiektów QR zostało wygenerowanych
17    internal var dataObjects: Int
18    /// True - Low | False - High : Poziom korekcji błędów w QR
19    internal var swBool: Bool
20    /// -----
```



```

21     internal var files: [AnyObject]
22     /**
23         Poniżej specjalne podziały widoku na podwidoki,
24         służące do poprawnego wyświetlania QR kodów
25     */
26     @IBOutlet weak internal var stackViewAll: UIStackView!
27     @IBOutlet weak internal var stackViewSubUp: UIStackView!
28     @IBOutlet weak internal var stackViewSubMid: UIStackView!
29     @IBOutlet weak internal var stackViewSubDown: UIStackView!
30     /// Widok typu UIImageView, do wyświetlania QR jako obrazu UIImage
31     @IBOutlet weak internal var imgQRCode: UIImageView!
32     @IBOutlet weak internal var imgQRCode2: UIImageView!
33     @IBOutlet weak internal var imgQRCode3: UIImageView!
34     @IBOutlet weak internal var imgQRCode4: UIImageView!
35     @IBOutlet weak internal var imgQRCode5: UIImageView!
36     @IBOutlet weak internal var imgQRCode6: UIImageView!
37     /// Ukryte pole do przechowywania nazw z poprzednich widoków
38     @IBOutlet weak internal var textField1: UITextField!
39     /// Tablica wszystkich widoków imgQRCode*
40     internal var t_imgQRCodes: [UIImageView] { get }
41     /// Tablica wszystkich pól do przechowywania nazw z poprzednich
42     widoków
43     internal var tField: [UITextField] { get }
44     /// -----
45     internal func documentPicker(_ controller:
46     UIDocumentPickerViewController,
47     didPickDocumentAt url: @autoclosure URL) ->
48     <<error type>>
49     /// -----
50     internal func documentPickerWasCancelled(_ controller:
51     UIDocumentPickerViewController) -> <<error type>>
52     /// Przeciążenie standardowej funkcji, ukrycie paska stanu
53     override internal var prefersStatusBarHidden: Bool { get }
54     /// Standardowa funkcja, inicjalizacja po załadowaniu widoku
55     override internal func viewDidLoad()
56     /// Standardowa funkcja, inicjalizacja po ukazaniu widoku
57     override internal func viewWillAppear(_ animated: Bool)
58     /// Ukrycie wszystkich podwidoków na widoku głównym
59     internal func hideStackViews()
60     /// Pokazanie wszystkich podwidoków na widoku głównym
61     internal func showStackViews()
62     /// Funkcja otrzymująca oddelegowane sygnały z przycisku na widoku
63     głównym
64     @IBAction internal func performButtonAction(_ sender: AnyObject)
65     /// Funkcja generująca QR kody z plików testowych
66     internal func generateTestGivenInString(str: String)
67     /// Funkcja generująca QR kody na podstawie niezajętości UIImageViews
68     internal func displayQRCodeImage(_ imageIter: Int)
69 }

```

Kod źródłowy 3.2: Generowanie QR kodów na wątkach QRCodeGenerator.

Klasa QRCodeGeneratorViewController służy jako model widoku kontrolera, obsługującego generowanie kodów QR na maksymalnie sześciu UIImageView.

Platforma *iOS* posiada wiele typów zarówno wysokiego jak i niskiego poziomu abstrakcji do obsługi wątkowości na wszystkich swoich urządzeniach. Do zmaksymalizowania przepływowości w kanale optycznym użyte zostały `DispatchWorkItems`, `DispatchQueues` (`Async` oraz `Sync`). Kolejkovanie z użyciem `Grand Central Dispatch` umożliwia stworzenie struktur, wymaganych do wygenerowania kodów QR w odpowiedniej sekwencji, a następnie w głównym wątku wyświetlenie ich na wyświetlaczu urządzenia. Każda aplikacja posiada własną specjalną kolejkę, która jako jedyna może zarządzać widzialnym interfejsem. Pozostałe pozwalają nadawać priorytety, na bazie których możliwe jest utrzymanie aplikacji przy życiu i wykonywanie złożonych obliczeń. `DispatchWorkItem` jest blokiem kodu do wykonania w określonym momencie. Służyć to może do tworzenia zadań nierozszczepialnych albo w przypadku tej pracy jako sekwencjonowanie przygotowania pliku zgodnie z protokołami transmisji, generowania kodów QR jako obrazów gotowych do wyświetlenia oraz samego wyświetlenia ich na ekranie. Rozbijając te czynności na pomniejsze oraz nie przeplatając ich, zapewnia się urządzeniu brak czytania/pisania do wspólnej pamięci- optymalizując przy okazji czas wykonania zadań i możliwość parametryzacji wyświetlania kodów QR. Z tablicy gotowych kodów, można dodawać do wątku głównego kolejno wszystkie sekwencje i decydować w jakim odstępie czasu mają się wyświetlać nowe. W przypadku generowania i wyświetlania kodów jeden po drugim, czynność taka byłaby niemożliwa, gdyż czas generowania mógłby być różny dla każdego kodu QR. Aplikacje pisane w języku Swift mogą korzystać z `Automatic Reference Counter`, który to liczy ilość nowych obiektów używanych przez aplikację od poszczególnych użyć innych obiektów. W momencie odliczenia do zera- zwalnia pamięć obiektu. Pozwala to na oszczędność w przejściach między kolejnymi widokami aplikacji, ale również na przechowywanie dużej ilości danych, a w przypadku, gdy stają się one niepotrzebne na zwolnienie ich. Platforma, umożliwia oszczędność cykli procesorów przy odliczaniu czasu, dzięki specjalnej strukturze funkcji. Struktura ta pozwala zaznaczyć jaka funkcja ma się wykonać w określonych interwałach czasowych, które to zostają odliczane wspólnie w jednym wątku. Wątek ten odlicza czas jaki upłynął w nanosekundach od 1970 roku.





## 4 Testy

Do tych badań wymagane jest urządzenie, które w sposób stały wyświetla kod QR oraz aplikacja prototyp, umożliwiająca zbadanie technicznych możliwości urządzeń wziętych pod uwagę w tym badaniu.

Oznaczenia:

- Wyświetlający - urządzenie wyświetlające ten sam symbol QR, propaguje dane, nie zmieniając ich.
- Odbierający - urządzenie czytające symbole QR z maksymalną dla swoich parametrów prędkością.

W ten sposób pozwalamy by odbierający miał możliwość przetestowania swojej prędkości odbierania bez zakłóceń zewnętrznych. Testowanie aplikacji odbywało się w trybie Debug. Zatem prędkości wykonania mogą różnić się od tych, które użytkownicy mogą uzyskać w trybie Release

### 4.1 Przepustowości nadawania

Nadawanie jest niezależne względem czynników zewnętrznych. Ograniczeniami urządzenia są jego własne możliwości podane w specyfikacji oraz jego procesy uruchomione w tle. Zakładając, że urządzenie nie będzie przechodziło w trakcie testów w stan inny niż aktywny i pierwszoplanowy, przyjęty zostaje brak przerw w nadawaniu.

Nadawanie danych wyświetlaczem:

Oznaczenia:

- Niech  $b$  będzie bajtem zawierającym jeden symbol ASCII po zakodowaniu danych używając BASE64.
- Niech  $s$  będzie sekundą (jednostką czasu).
- Niech  $i$  oznacza ilość bajtów w jednym QR kodzie.

Mamy następujący wzór dla przesyłania danych.

- Zatem  $V_1 = ((b * i) / s)$

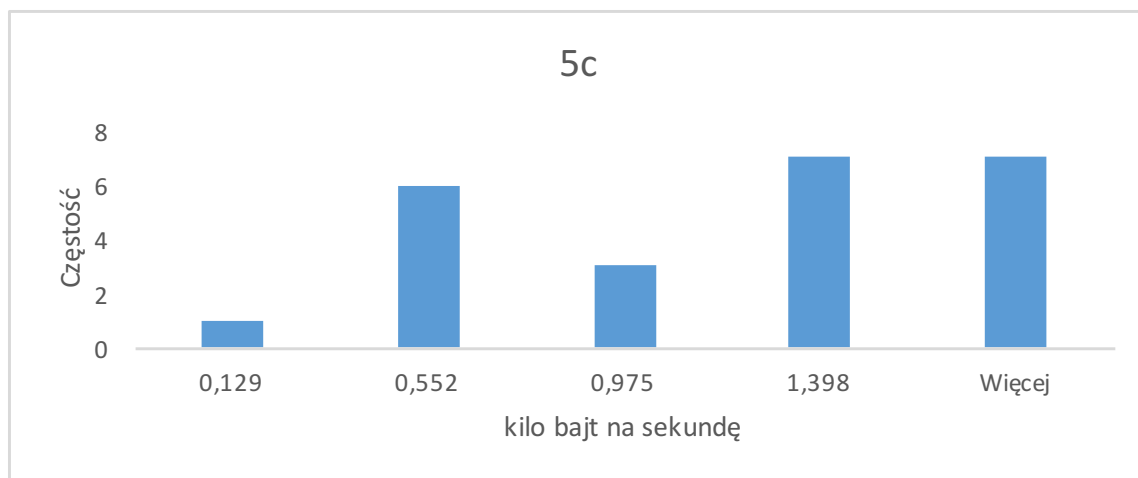
Następnie biorąc pod uwagę, że można przysyłać jeden duży QR kod lub wiele pomniejszych, wzór można przekształcić następująco:

- Niech  $q$  oznacza ilość QR kodów, jakie są wyświetlane w tej samej jednostce czasu.

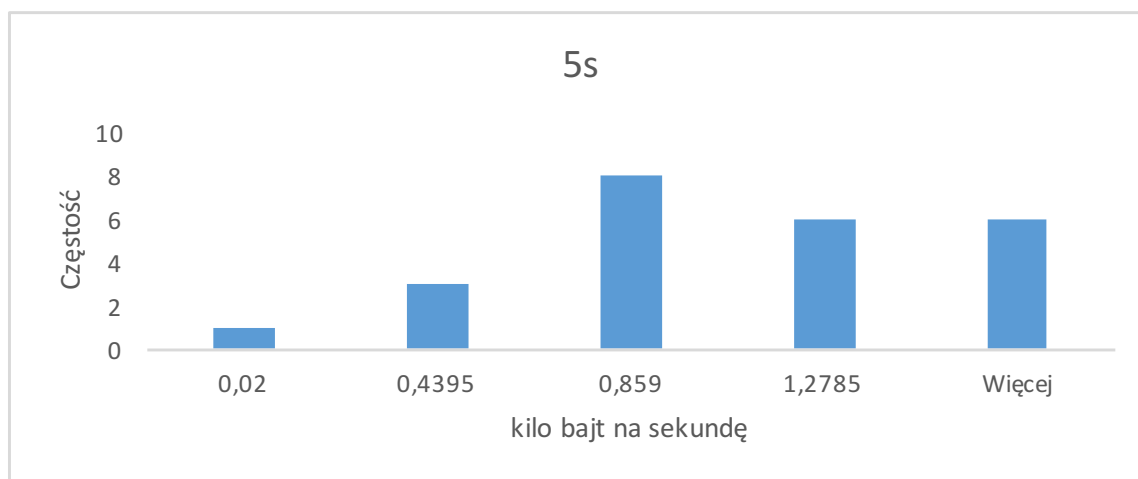


- Zatem  $V_2 = ((b * i) / s) * q$

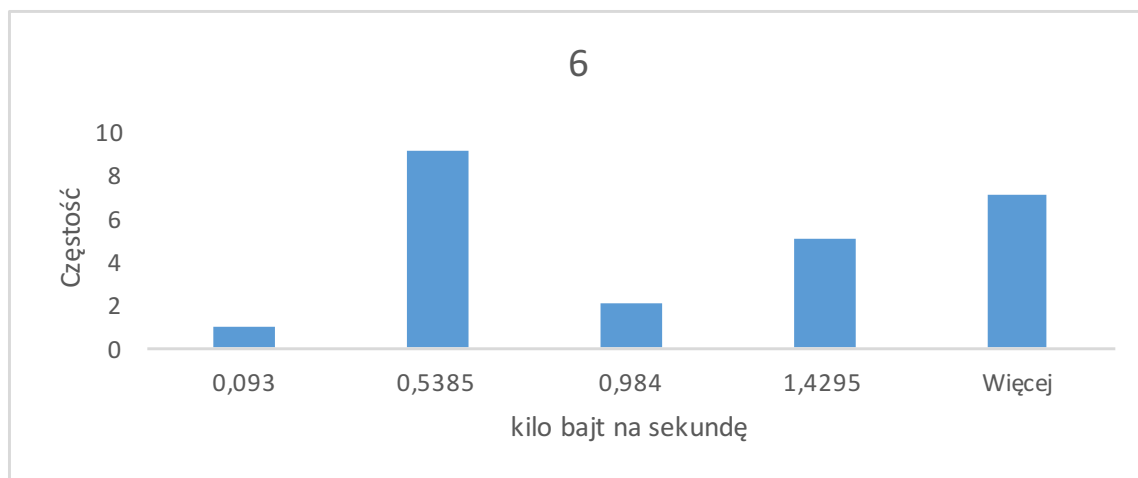
Należy jednak wziąć pod uwagę, że kod QR posiada korekcję błędów na czterech różnych poziomach. Zatem część obszaru przez niego pokrywanego nie będzie nośnikiem danych, a powtórzeniem już istniejących, co także uwzględniamy. Wobec czego powyższy wzór należy przedstawić następująco:  $V_3 = ((b * i) / s) * q - V_2 * C$ , gdzie  $C$  jest jednym z czterech  $\{ 7\%, 15\%, 25\%, 30\% \}$



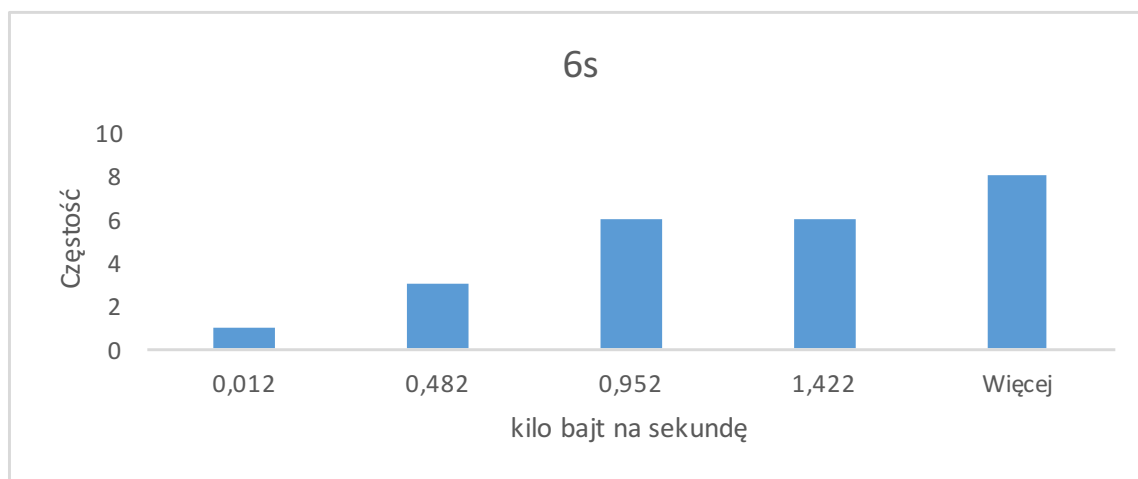
Rysunek 4.1: Prędkość nadawania QR kodów na iPhone 5c. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



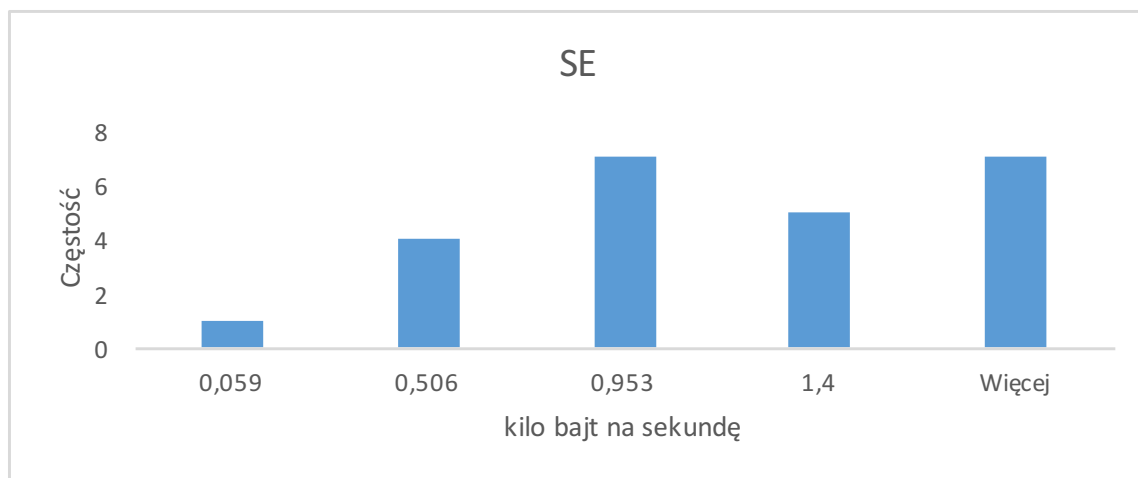
Rysunek 4.2: Prędkość nadawania QR kodów na iPhone 5s. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



Rysunek 4.3: Prędkość nadawania QR kodów na iPhone 6. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



Rysunek 4.4: Prędkość nadawania QR kodów na iPhone 6s. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



Rysunek 4.5: Prędkość nadawania QR kodów na iPhone SE. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.

Uśredniona względem zbadanych odległości liczba kilobitów na sekundę dla nadawania w czasie rzeczywistym danych prezentując tą samą ilość danych:

Urządzenie 5c - 6.7 Kb/s

Urządzenie 5s - 8.0 Kb/s

Urządzenie 6 - 13.3 Kb/s

Urządzenie 6s - 16.0 Kb/s

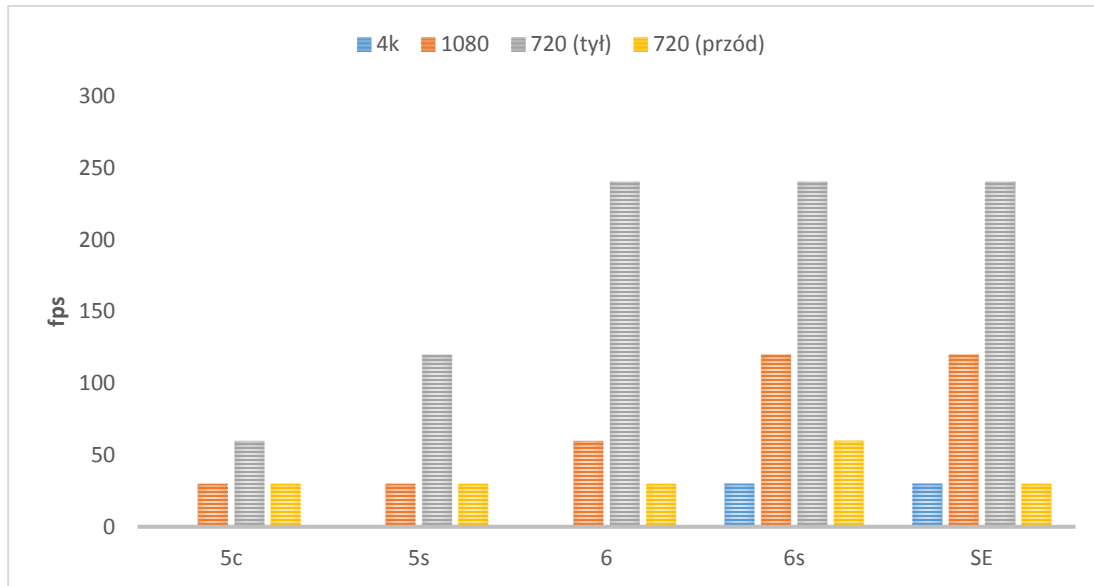
Urządzenie SE - 11.4 Kb/s

Urządzenia 5c i 5s różnią się od siebie jedynie procesorem. Ich wyświetlacze są takie same. Można zauważyć, że w średnich wynikach dla nadawania kanałem optycznym wielkość wyświetlacza ma spore znaczenie, widać różnicę między najnowszym modelem SE, a starszym o dwie wersje iphonem 6. Mimo, że SE posiada procesor dwurdzeniowy A9 o mocy 1,85 GHz, a iphone 6 ma dwurdzeniowy A8 o mocy 1,4 GHz, to prędkość nadawania jest wyższa dla modelu o większym wyświetlaczu - iphone 6. Wynika to z jakości kodów QR, ponieważ odbierający ma dostęp do wyższej rozdzielczości kodów oraz dystansu między urządzeniami. Zarówno w przypadku iphone'a 6 oraz SE urządzenie odbierające było oddalone od nich o 30cm.

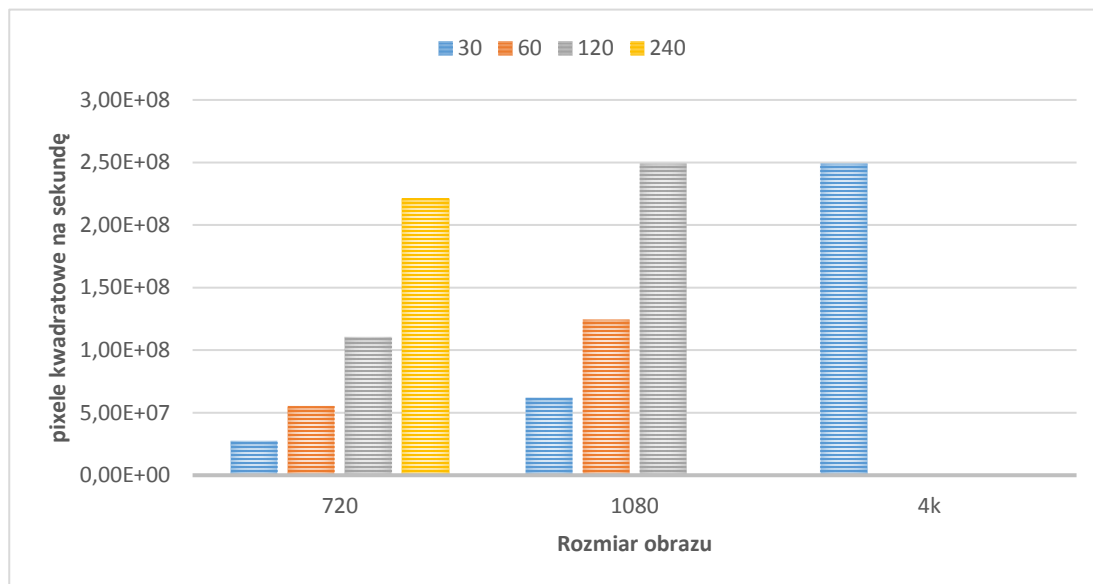


## Badanie przepustowości odbioru

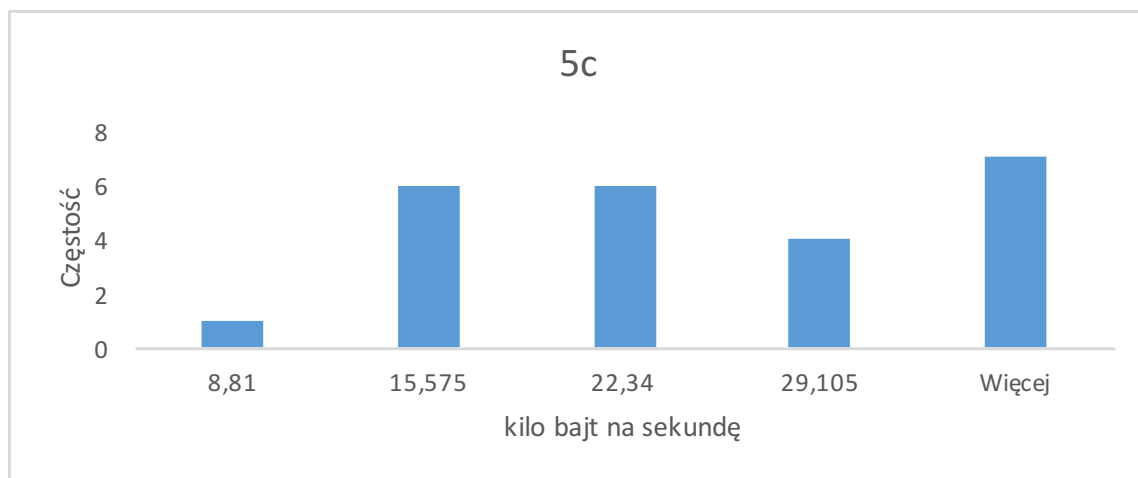
Ze względu na środowisko badania należy przyjąć, że urządzenie nadające jest w stanie propagować poprawnie wszystkie bity transmisji oraz połączenie między urządzeniami jest nieprzerywalne.



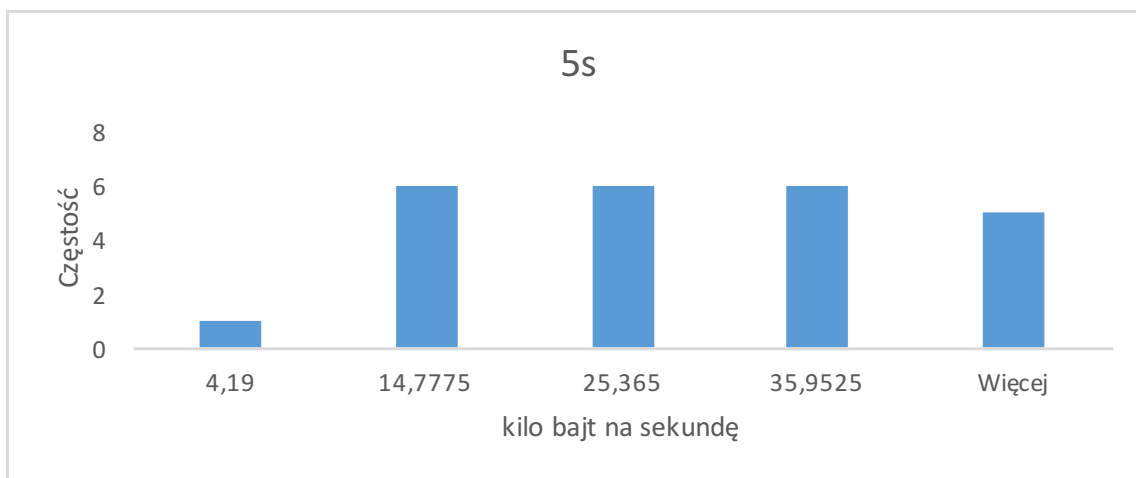
Rysunek 4.6: Wykres przedstawia możliwości poszczególnych ustawień kamery dla odbierania danych. Oś pionowa przedstawia ilość klatek na sekundę, pozioma natomiast rozdzielczość nagrywania.



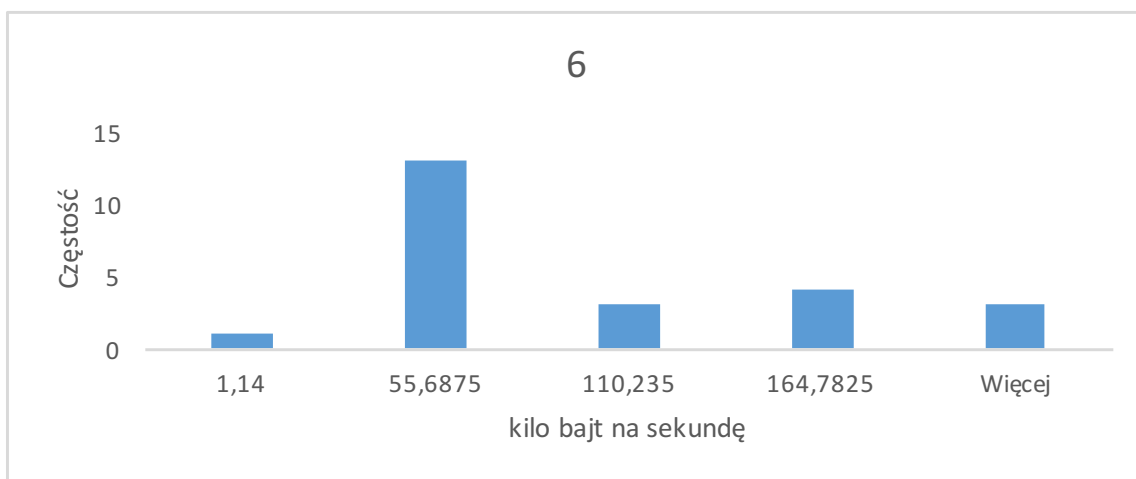
Rysunek 4.7: Wykres przedstawia zależność rozdzielczości obrazu względem potencjalnej ilości przesyłanych danych. Przy założeniu, że każdy piksel jest w stanie nieść informację.



Rysunek 4.8: Prędkość czytania danych ze statycznego QR kodu na urządzeniu iPhone 5c. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.

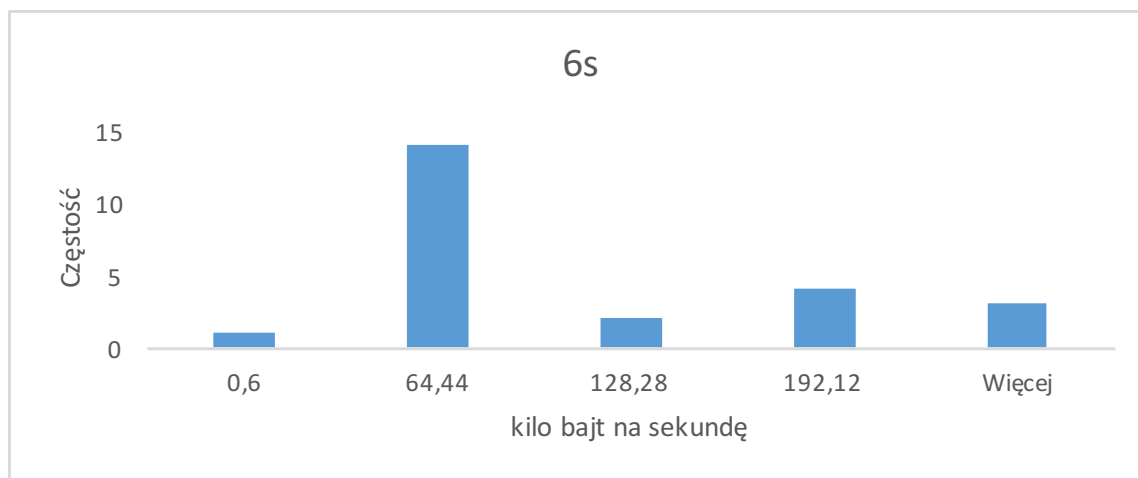


Rysunek 4.9: Prędkość czytania danych ze statycznego QR kodu na urządzeniu iPhone 5s. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.

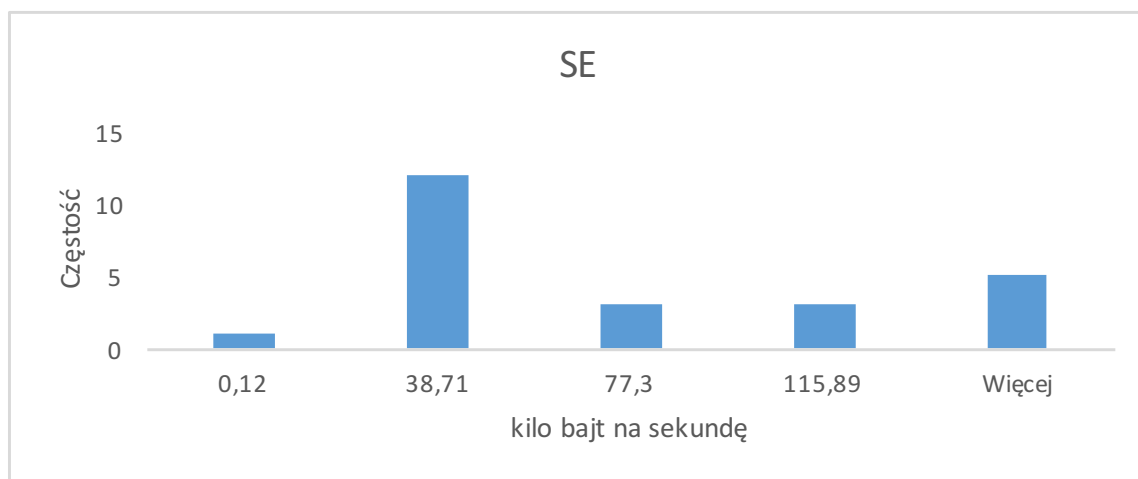


Rysunek 4.10: Prędkość czytania danych ze statycznego QR kodu na urządzeniu iPhone 6. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.





Rysunek 4.11: Prędkość czytania danych ze statycznego QR kodu na urządzeniu iPhone 6s. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



Rysunek 4.12: Prędkość czytania danych ze statycznego QR kodu na urządzeniu iPhone SE. Dolna oś przedstawia górną granicę przedziału dla transferu danych.



Liczba kilobajtów na sekundę dla odbierania w czasie rzeczywistym danych z drugiego urządzenia prezentującego w sposób ciągły ten sam symbol QR:

Urządzenie 5c - 31.0 KB/s

Urządzenie 5s - 34.0 KB/s

Urządzenie 6 - 49.0 KB/s

Urządzenie 6s - 58.0 KB/s

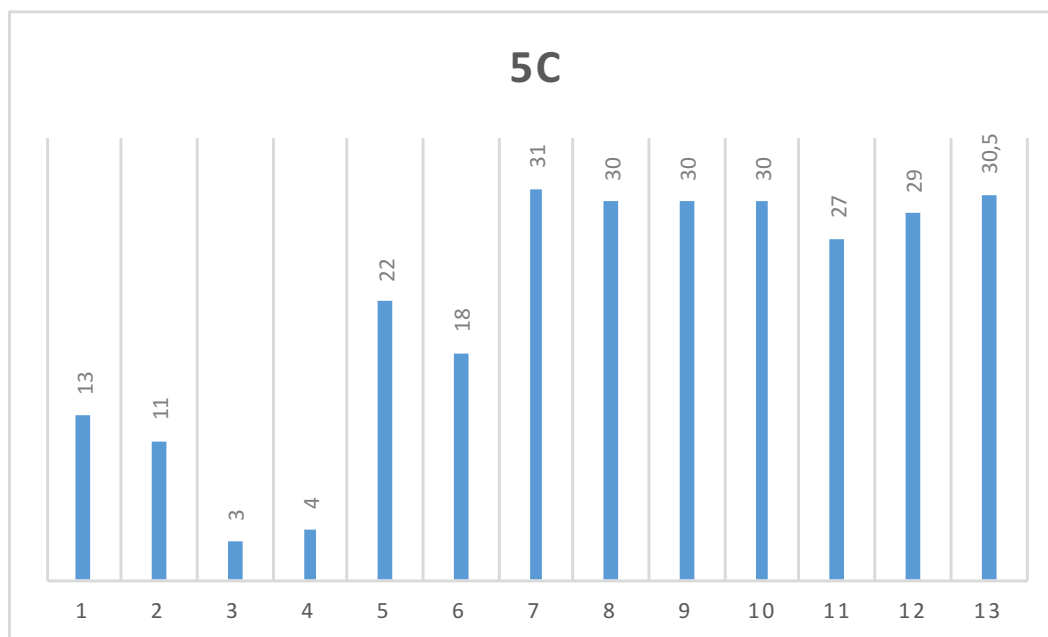
Urządzenie SE - 58.0 KB/s

Powyższe wyniki potwierdzają, że urządzenia 6s oraz SE posiadają te same podzespoły, a ich kamera dla transmisji QR kodami optymalne wyniki osiąga w rozdzielczości 720p przy 240 klatkach na sekundę. Tym sposobem liczba czytanych kodów jest stała względem jednostki czasu, brak źle odczytanych QR oraz wyświetlanie klatek na urządzeniu nadającym może wzrastać do 120 klatek na sekundę. Zatem nie ograniczamy nadającego, gdyż z taką maksymalną częstotliwością może nadawać większość wyświetlaczy (2016- 2017 rok).

## Badanie przepustowości w komunikacji

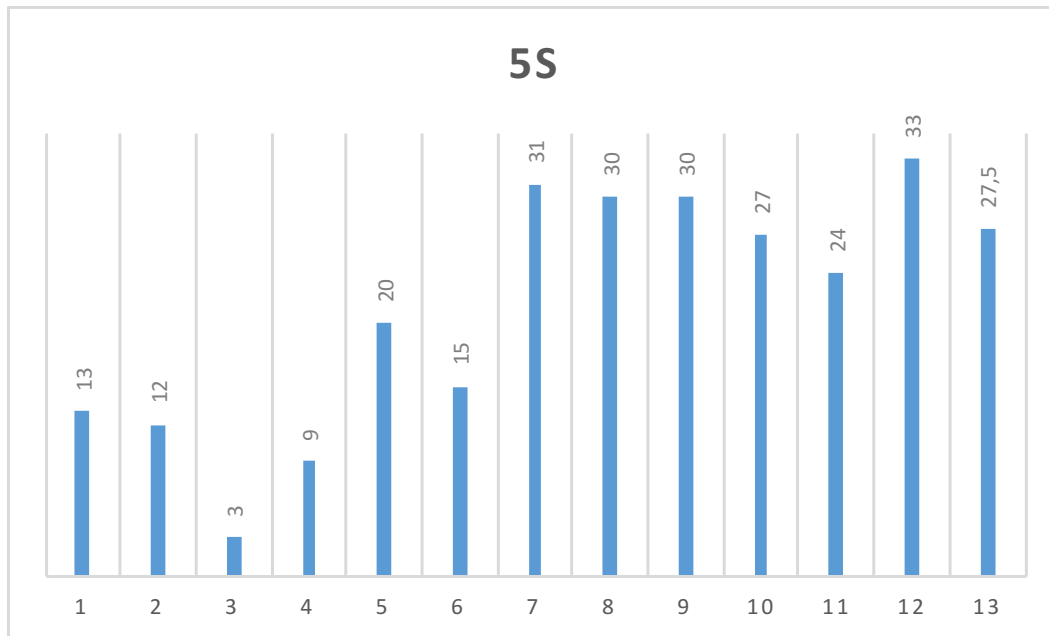
W tym kroku należy przyjąć, że optymalna przepustowość to minimum z przepustowości nadawania i odbierania dla obu urządzeń.

Poniższe wykresy przedstawiają maksymalną liczbę bajtów na sekundę osiągniętą w pojedynczym teście. Każdy test to jednominutowa wymiana klucza między dwoma urządzeniami tego samego typu. Dla każdego urządzenia zostało przeprowadzone od 13 do 20 testów.



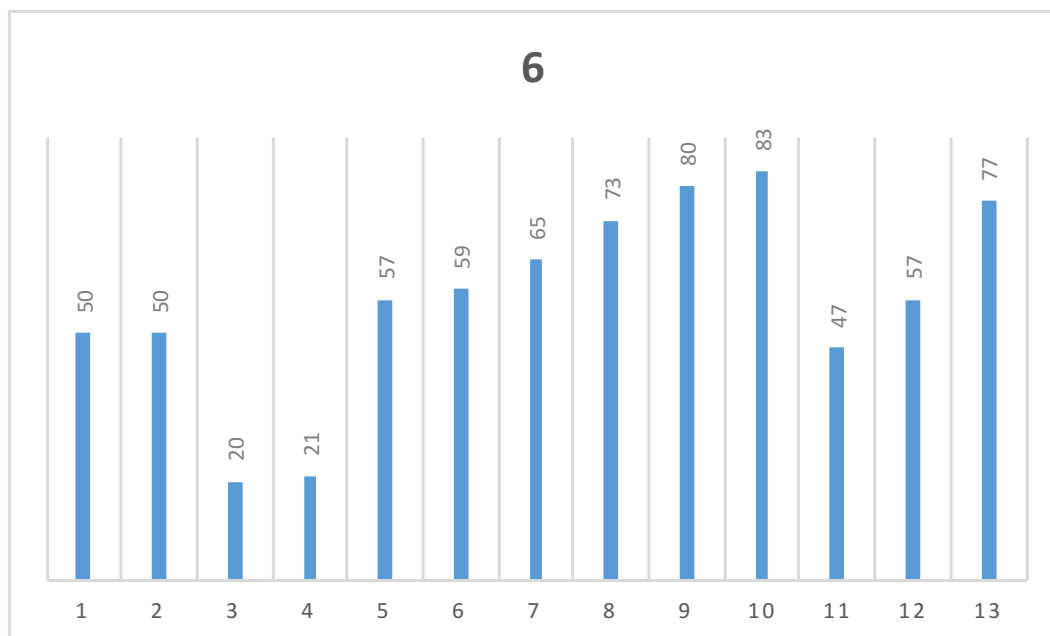
Rysunek 4.13: Przepustowość kanału optycznego QR kodami wyrażona w bajtach na sekundę. Czytanie QR na czterech wątkach, nadawanie w osobnej kolejce wątków, wyświetlanie dwóch krat jako potwierdzenie pominiętych QR. Urządzenie iPhone 5c

Na wykresie przedstawiającym testy z iPhone 5c można zauważyć, że po ustabilizowaniu odległości urządzeń wyniki dawały około 30 bajtów na sekundę jako maksymalny transfer. Powyższy wykres umożliwia wykonanie poniższego, dzięki któremu można przyjąć, która kamera jest potencjalnym maksymalnym przepływem.



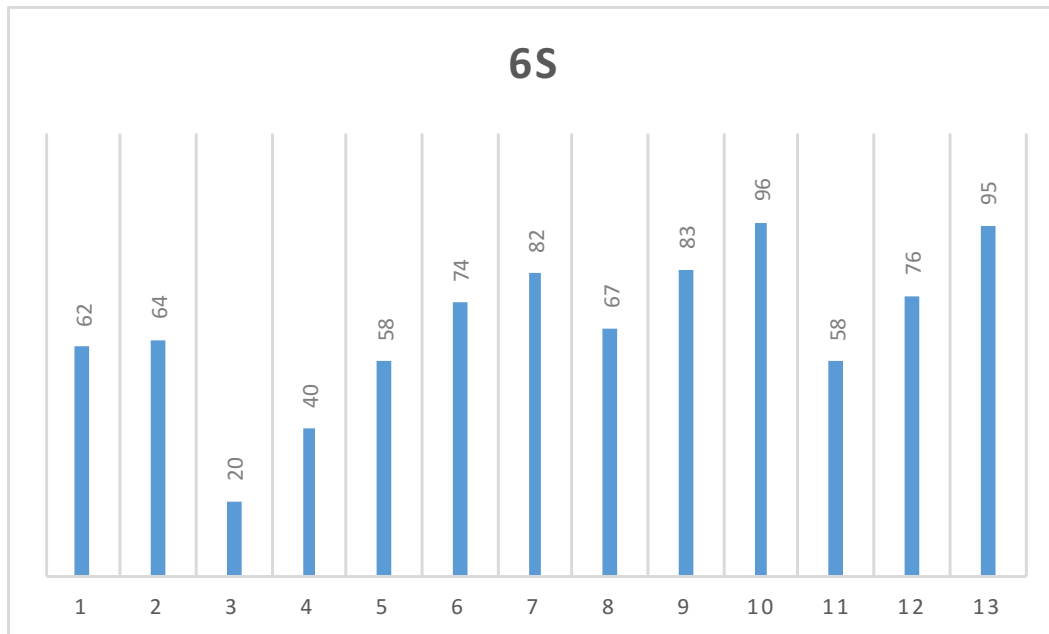
Rysunek 4.14: Przepustowość kanału optycznego QR kodami wyrażona w bajtach na sekundę. Czytanie QR na czterech wątkach, nadawanie w osobnej kolejce wątków, wyświetlanie dwóch krat jako potwierdzanie pominiętych QR. Urządzenie iPhone 5s

Na wykresie przedstawiającym testy z iPhone 5s również można zauważyć, że odległości między urządzeniami miały znaczenie w wymianie klucza. Wyniki oscylowały w granicach 30-33 bajtów na sekundę, jako maksymalny transfer w kanale optycznym.



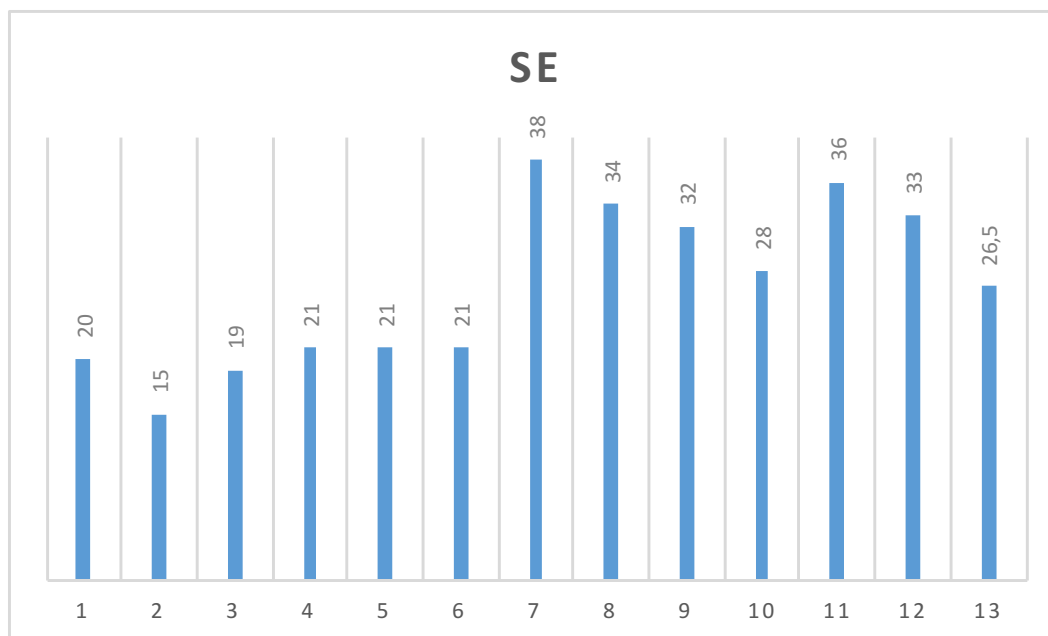
Rysunek 4.15: Przepustowość kanału optycznego QR kodami wyrażona w bajtach na sekundę. Czytanie QR na czterech wątkach, nadawanie w osobnej kolejce wątków, wyświetlanie dwóch krat jako potwierdzenie pominiętych QR. Urządzenie iPhone 6

Na wykresie przedstawiającym testy z iPhone 6 odległości między urządzeniami były z początku prawidłowe, jednak po próbach 3 oraz 4, kiedy technika pozycjonowania urządzeń jednego nad drugim się ustabilizowała, transfer wzrastał aż do 83 bajtów na sekundę.



Rysunek 4.16: Przepustowość kanału optycznego QR kodami wyrażona w bajtach na sekundę. Czytanie QR na czterech wątkach, nadawanie w osobnej kolejce wątków, wyświetlanie dwóch krat jako potwierdzanie pominiętych QR. Urządzenie iPhone 6s

Na wykresie przedstawiającym testy z iPhone 6s wyniki znacząco wzrosły. Powodem jest przednia kamera w aparacie, która posiada 5 mega pikseli oraz może nagrywać w trybie 60 klatek na sekundę. Pozostałe urządzenia maksymalnie mogły nagrywać w 30 klatkach na sekundę przy kamerze 1.2 mega piksela. Dla tego urządzenia maksymalna przepustowość kanału wynosi 96 bajtów na sekundę, czyli prawie trzykrotność urządzeń o mniejszych wyświetlaczach.



Rysunek 4.17: Przepustowość kanału optycznego QR kodami wyrażona w bajtach na sekundę. Czytanie QR na czterech wątkach, nadawanie w osobnej kolejce wątków, wyświetlanie dwóch krat jako potwierdzanie pominiętych QR. Urządzenie iPhone SE

Na wykresie przedstawiającym testy z iPhone SE wyniki są bardzo zróżnicowane, gdyż zostały przeprowadzone już po migracji platformy na nowszą wersję. Wyniki bardzo przypominają testy z urządzeń 5c oraz 5s, ponieważ ich wyświetlacze mają rozdzielczości 640 na 1136 pikseli. Jednak w tym przypadku testy wypadły znacznie lepiej, co może być wynikiem znaczących różnic w parametrach urządzeń. 5c oraz 5s mają procesory A6 1.3 GHz, A7 1.3GHz, natomiast SE posiada A9 1.85GHz.



## 4.2 Możliwości techniczne transmisji danych w praktyce

### Wykresy i opisy

Urządzenia są w stanie wymienić się danymi dowolnej długości, ograniczonej jedynie pamięcią potrzebną do zaalokowania w aplikacji.

Każdy telefon ma określoną ilość ramu, więc żeby zapisywać potrzeba robić przerwę w nagrywaniu, by odciążyć go na czas dostępu do pamięci wbudowanej i zapisać dotychczasową kopię odebranych danych. Jest to ważny zabieg, gdyż zbliżając się do limitu danych jaki jest w stanie przechować urządzenie, zwiększamy ryzyko utraty innych tymczasowych danych. Urządzenia marki Apple w odróżnieniu od innych dostępnych na rynku (2016r.) smartfonów są bardzo dobrze zoptymalizowane pod kątem dostępu do pamięci wbudowanej. Cała pamięć jest zbudowana w oparciu o technologię Flash Drive. Zapewnia ona szybszy dostęp do pamięci, przez jej statyczność, która w odróżnieniu od Hard Drive, nie opóźnia transmisji danych podczas odczytu i zapisu.



## 4.3 Testy prototypu i dyskusja

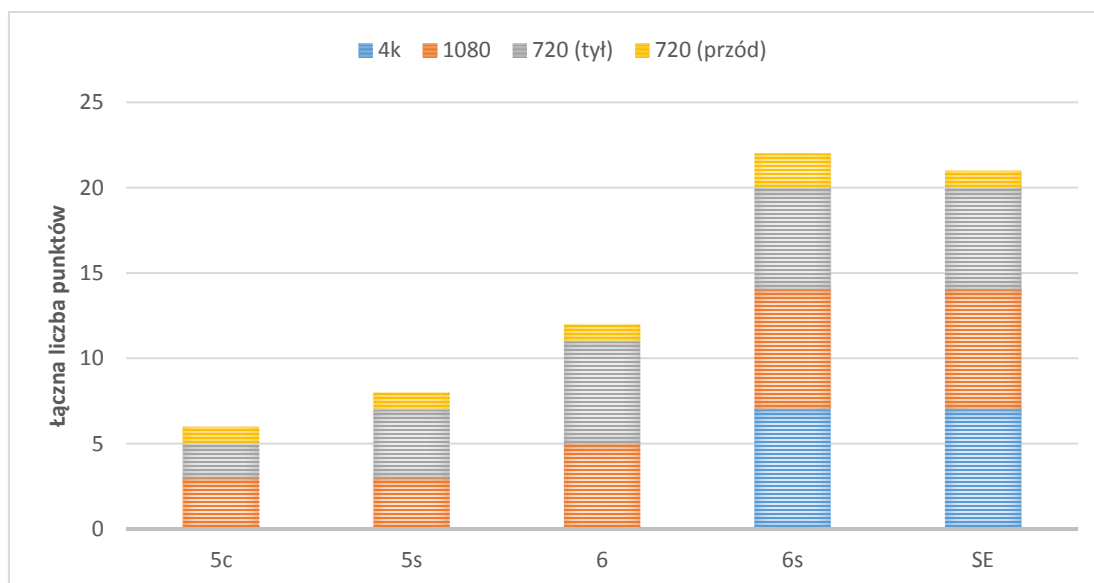
### Podjęte próby - osiągnięcia

Podczas implementacji projekt nie przewidywał migracji między trzema wersjami języka Swift i kompilatora Clang. Wymagało to zapoznania się z nowymi wymogami platformy oraz przeprojektowaniem kolejkowania wątków i dystrybucji zadań w systemie. Zmiany te były na tyle znaczące, że zmusiły do ponownego przeprowadzenia badań, w celu ustalenia poprawności obliczeń. Sama zmiana platformy na nowszą nie ulepszyła żadnej z funkcjonalności aplikacji. Zmieniło to jedynie sposób dostępu do plików systemowych i kolejkowania wątków w całej platformie iOS. Wszelkie odwołania języka Swift do Objective-C pozostały podobne z wyróżnieniem etykietowania argumentów funkcji w sposób jawny. Kompilator wspierający język otrzymał jedną znaczącą poprawkę - nie próbuje poprawiać kodu po pierwszym dużym błędzie kompilacji, co przyspiesza kompilację większych projektów.



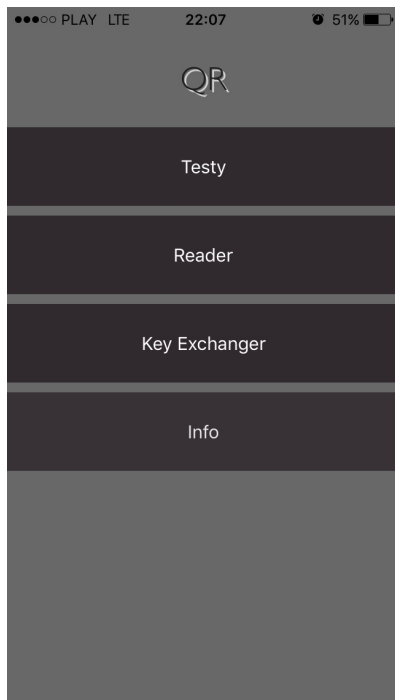
## 5 Podsumowanie

Projektując aplikację głównym założeniem było przesłanie jak największej ilości bajtów w jak najkrótszym czasie. Badanie obejmowało pięć telefonów marki Apple oraz przedziały czasu w jakich były one wydawane, można było spodziewać się znacznego wzrostu wydajności kolejnych względem poprzednich modeli. Tymczasem platforma iOS zmieniając programistyczne implementacje poszczególnych klas udostępnionych deweloperom, pozostawiała algorytmy i optymalizacje samemu kompilatorowi clang i jego domyślnym ustawieniom. Biorąc to wszystko pod uwagę, udało się zakończyć badania sukcesem i przedstawić zależności między poszczególnymi aspektami technicznymi oraz ograniczeniami samej platformy. Aplikacja oraz jej możliwości pozwalają na przesłanie niewielkiej ilości danych, dobranych proporcjonalnie do potrzeb. Umożliwia ona wymianę kluczy alternatywnym kanałem, odpornym na interferencje i nadmiar infrastruktury. Nie wymaga uruchamiania bluetooth, czy wifi, przez co uniemożliwia wykrycie i podsłuchanie transmisji nawet z bliska. Warty uwagi mogłoby być nasłuchiwanie pracy samego procesora w celu ustalenia, czy w danym momencie następuje wymiana informacji, czy jest to jego stan bezczynności. Aplikacja umożliwia dalszy rozwój przez implementację różnych algorytmów wymiany danych czy protokołów inicjalizujących bezpieczną transmisję danych. Urządzenia, które były celem badania zostały ocenione na podstawie ich własności technicznych i można je przedstawić następująco:

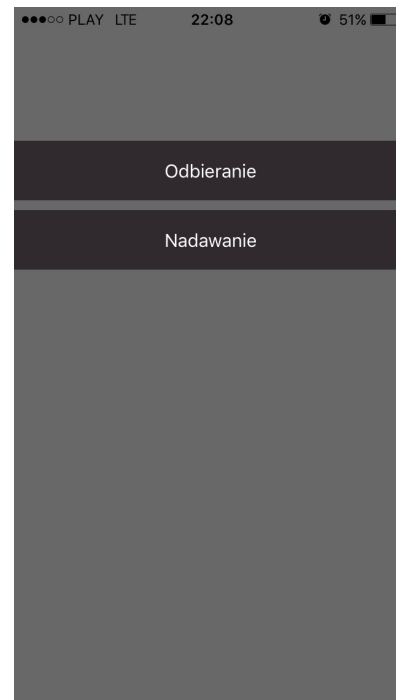


Rysunek 5.1: Wykres sporządzono na podstawie ilości pikseli kwadratowych na sekundę w transmisji danych dla maksymalnych ustawień kamery.

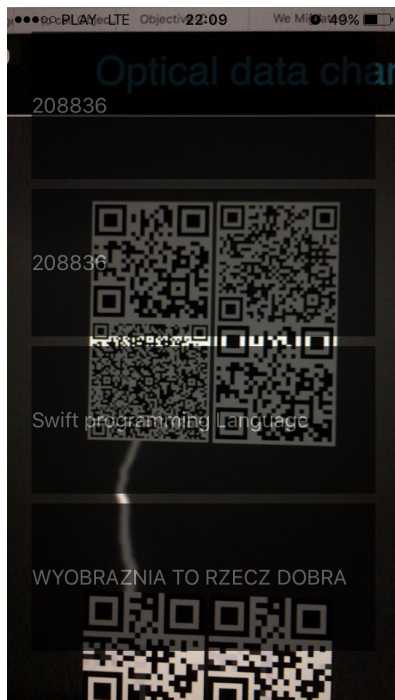
## Wycinki ekranów



(a) Menu aplikacji



(b) Wybór dla Testów



●●○○○ PLAY LTE 22:08 50%

3.45

3962

1207.0B/s

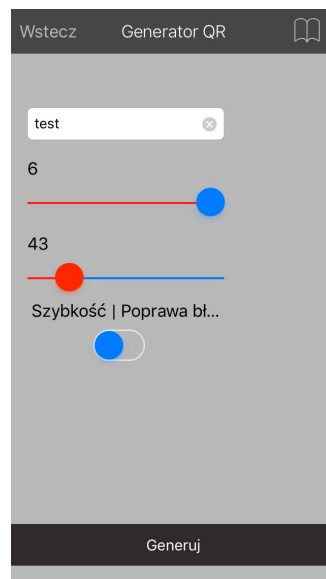
Start

(a) Moduł czytania czterech QR na raz w czasie rzeczywistym

(b) Testowanie transferu czytania QR kodów



(a) Widok parametryzacji dla generowania QR kodów



(b) Ustawione parametry dla generowania QR kodów



(a) Generowanie QR kodów



(b) Wymiana klucza za pomocą QR kodów





# Bibliografia

- [1] Core frameworks - foundation.  
<http://druzzt.github.io/QR/PROOF/StringCapacity.html>.
- [2] Nyquist sampling theorem.  
<https://web.archive.org/web/20170103174530/http://redwood.berkeley.edu/bruno/npb261/aliasing.pdf>.
- [3] Qr codes for security.  
<http://www.csoononline.com/article/2133890/mobile-security/the-dangers-of-qr-codes-for-security.html>.
- [4] Qrcode.com.  
<https://web.archive.org/web/20130129064920/http://www.qrcode.com/en/qrfeature.html>.
- [5] DENSO. Qr code® essentials. 2011.



# A Zawartość płyty CD

W tym rozdziale należy krótko omówić zawartość dołączonej płyty CD. Na płycie znajduje się projekt Xcode, zawierający aplikację testową oraz jej dokumentację.

