

Przemysław PARDEL  
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

## OŚWIETLANIE OBIEKTÓW WIRTUALNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBRAZÓW O ROZSZERZONEJ DYNAMICE (HDR) W ŚRODOWISKU ROZSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań wykorzystania obrazów o rozszerzonej dynamice (HDR) do oświetlania obiektów wirtualnych w środowisku rozszerzonej rzeczywistości (AR).

**Słowa kluczowe:** rozszerzona rzeczywistość, image based lighting, obrazy o rozszerzonej dynamice

## VIRTUAL OBJECT LIGHTING IN AUGMENTED REALITY WITH USING HIGH DYNAMIC RANGE IMAGES

**Summary.** In this work we present research results of aspect using the high dynamic range (HDR) images to lighting virtual objects in augmented reality (AR) environment.

**Keywords:** augmented reality, image based lighting, high dynamic range images

### 1. Wstęp

Analiza problematyki dotyczącej oświetlenia obiektów wygenerowanych komputerowo w środowisku rozszerzonej rzeczywistości daje podstawy do stwierdzenia, że dotychczas nie opracowano żadnej metody bazującej na obrazach o standardowej (niskiej) dynamice tonów (dwa do trzech rzędów dynamiki jasności (luminancji), ang. *Low Dynamic Range, LDR*), która pozwalałaby na oświetlenie obiektu wirtualnego w środowisku rozszerzonej rzeczywistości w taki sposób, aby był on nierozróżnialny od obiektów rzeczywistych. Opracowanie takiej

metody przy obecnym stanie technologii (brak technologii akwizycji danych na poziomie 11-13 rzędów dynamiki jasności) jest zadaniem bardzo trudnym i skomplikowanym. Najbardziej porównywalny do zakresu jasności widzianego przez człowieka obrazu jest obraz o rozszerzonej dynamice, który jest w stanie zarejestrować pełny zakres widziany przez człowieka. Obraz taki może zarejestrować wszystkie kolory widziane przez człowieka (standardowa obraz cyfrowy rejestruje około 40% gamy barw, które człowiek rozpoznaje).

Ze względu na swoje właściwości obrazy te mogą być szeroko wykorzystywane w środowisku rozszerzonej rzeczywistości i w znacznym stopniu mogą się przyczynić do spełnienia głównych założeń idealnego systemu rozszerzonej rzeczywistości.

## 2. Rozszerzona rzeczywistość (Augmented Reality, AR)

Rozszerzona rzeczywistość (ang. *Augmented Reality, AR*) jest obszarem badań naukowych informatyki zajmującym się łączeniem obrazu świata rzeczywistego z elementami stworzonymi przy wykorzystaniu technologii informatycznej. Rozszerzona rzeczywistość nie tworzy wirtualnego, pełnego, nowego świata 3D (jak wirtualna rzeczywistość, ang. *Virtual Reality, VR*), lecz rozszerza i uzupełnia ten, który znamy, o wirtualną powłokę [3, 4].

Na podstawie obecnych doświadczeń przy tworzeniu i pracy z systemami AR należy wyszczególnić następujące cechy, jakie musi spełniać idealny system AR [9]:

- interakcja w systemie powinna następować w czasie rzeczywistym,
- wirtualne „rozszerzenie” powinno być nierozróżnialne od obiektów rzeczywistych,
- rzeczywiste obiekty mogą być „rozszerzone” przez wirtualną informację,
- wirtualne „rozszerzenie” może być dowolnie badane i oglądane,
- użytkownik powinien mieć możliwość łatwego wejścia i opuszczenia systemu,
- współpraca wielu użytkowników systemu powinna przebiegać naturalnie; każdy z użytkowników powinien kontrolować swój własny niezależny punkt widzenia.

## 3. Obrazy o rozszerzonej dynamice (High Dynamic Range images, HDR)

Obrazy o rozszerzonej dynamice (ang. *High Dynamic Range images, HDR*) to obrazy o zakresie jasności (ang. *luminance*) porównywalnym do zakresu jasności (stosunek najjaśniejszego punktu na obrazie do punktu najciemniejszego) widzianego przez człowieka (11-13 rzędów dynamiki jasności). Uwzględniając procesy adaptacyjne, oko ludzkie może odbierać sygnały w zakresie od  $0,000001 \text{ cd/m}^2$  do  $100000 \text{ cd/m}^2$ . Aparaty fotograficzne reje-

strują zdjęcia w zakresie ok. dwóch rzędów luminancji. Podobnie rzecz odnosi się do wielkości urządzeń wyświetlających. Fotografia tradycyjna (analogowa) jest w stanie zarejestrować około czterech rzędów luminancji. Człowiek widzi w danych warunkach ok. 4 rzędów luminancji, a dzięki adaptacji wzroku do różnych warunków zakres ten zwiększa się nawet do 11–13 rzędów (rys. 1).



Rys. 1. Zakres dynamiki widzenia oka ludzkiego

Fig. 1. Human eye luminance dynamic range

Obraz o rozszerzonej dynamice można uzyskać przez pobieranie kilku obrazów o standardowej dynamice tonów przy różnych ustawieniach oświetlenia lub też przez modyfikację warunków oświetlenia. Należy modyfikować tak czas naświetlania, aby pobrać serię obrazów z różnym natężeniem światła. Ciemne lub jasne obszary w scenie są wyeksponowane prawidłowo na jednym z tych obrazów [1].

Najprostszy algorytm tworzenia obrazu HDR o głębokości bitowej kanału koloru równej  $H$  na podstawie kilku obrazów LDR o głębokości bitowej kanału koloru wynoszącej  $L$  [2] można opisać następującym wzorem:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (A_i \cdot 2^{H-L}) \quad (1)$$

gdzie:

$A_i$  – macierz pikseli  $i$ -tego obrazu,

$H$  – głębokość bitowa kanału koloru obrazu HDR,

$L$  – głębokość bitowa kanału koloru obrazu LDR,

$N$  – liczba obrazów wejściowych.



Rys. 2. Obraz HDR powstały z czterech obrazów LDR

Fig. 2. HDR image from four LDR images

Poprawne zaprezentowanie obrazu na urządzeniu wyświetlającym (współczesne urządzenia wyświetlające mają bardzo ograniczony zakres dynamiki) wymaga zastosowania operacji

zmniejszających zakres dynamiki obrazu. Przy tym należy zachować jak najwięcej informacji. Operacje te noszą nazwę kompresji tonów [10], natomiast poszczególne metody to operatory tonów [11].

#### **4. Oświetlanie obiektów wirtualnych w środowisku rozszerzonej rzeczywistości**

Idealne środowisko rozszerzonej rzeczywistości jest ściśle związane ze środowiskiem rzeczywistym i powinno reagować na wszelkie zmiany w środowisku rzeczywistym w sposób natychmiastowy (środowisko rzeczywiste powinno reagować na zmiany w środowisku AR). Warunek ten może być spełniony tylko wówczas, jeśli oba te środowiska mogą wymieniać wszelkie informacje na temat swojego stanu w sposób nieograniczony.

W środowisku wirtualnej rzeczywistości informacje na temat oświetlenia (pozycja źródeł światła, kształt, jasność itd.) środowiska są definiowane bezpośrednio przez twórcę systemu wirtualnej rzeczywistości. Wyznaczenie oświetlenia w środowisku rozszerzonej rzeczywistości wymaga przekazania informacji na temat środowiska rzeczywistego do systemu AR, a następnie na podstawie tej wiedzy odwzorowania warunków oświetlenia panujących w środowisku rzeczywistym. Należy zwrócić uwagę na fakt, że zadanie jest trudne do zrealizowania i zarazem jest bardzo istotne z punktu widzenia utworzenia „idealnego” systemu AR, ponieważ oświetlenie jest jednym z najważniejszych czynników, które sprawiają, że wirtualne obiekty wyglądają jak prawdziwe.

Trudność w wyznaczaniu oświetlenia w środowisku AR jest związana przede wszystkim z faktem, iż geometria rzeczywistego środowiska jest zwykle nieznana, a także nie posiadamy informacji o pozycji i kształcie źródeł światła. Wszystkie te informacje należy wyekstrahować bezpośrednio ze środowiska rzeczywistego, dokonać wstępnej analizy danych, a następnie przekazać informację do środowiska AR w celu jego adaptacji do panujących warunków [5, 9].

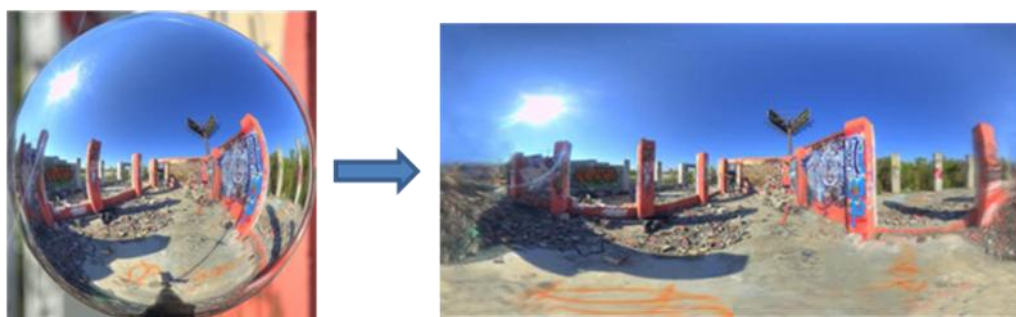
##### **4.1. Oświetlenie tworzone na podstawie obrazu**

Oświetlenie obiektów w środowisku AR musi uwzględniać środowisko rzeczywiste, w którym te obiekty się znajdują. Realizacja tego zadania polega na pobraniu obrazu środowiska rzeczywistego otaczającego obiekty wirtualne i przekazaniu tej informacji do środowiska AR celem odpowiedniej interpretacji. Do procesu oświetlenia obiektów w środowisku AR jest wykorzystywana technika Oświetlenia Bazującego na Obrazie (ang. *Image Based Lighting, IBL*).

**Image Based Lighting (IBL)** – proces oświetlania sceny i obiektów (rzeczywistych lub wirtualnych) na podstawie obrazów oświetlenia pobranych bezpośrednio ze środowiska rzeczywistego.

Najczęściej stosowane metody pozyskiwania obrazu środowiska rzeczywistego to:

- fotografowanie lustrzanej kuli – jedno zdjęcie kuli zawiera w sobie informację o całkowitym oświetleniu sceny,
- łączenie pojedynczych fotografii w obraz środowiska – operacja czasochłonna,
- zastosowanie obiektywu typu „rybie oko” (*fish-eye*) – wadą jest silne winietowanie tego typu obiektywów [7],
- fotografowanie tylko wybranej przez użytkownika części środowiska (np. sufitu),
- zastosowanie specjalnych kamer obrotowych [8].



Rys. 3. Fotografia lustrzanej kuli i uzyskany z niej obraz środowiska (źródło: „How to shoot a chrome ball for hdr” [6])

Fig. 3. Chrome Ball image and environment map (source: „How to shoot a chrome ball for hdr” [6])



Rys. 4. Obiektyw typu „rybie oko”

Fig. 4. Fish-eye lens

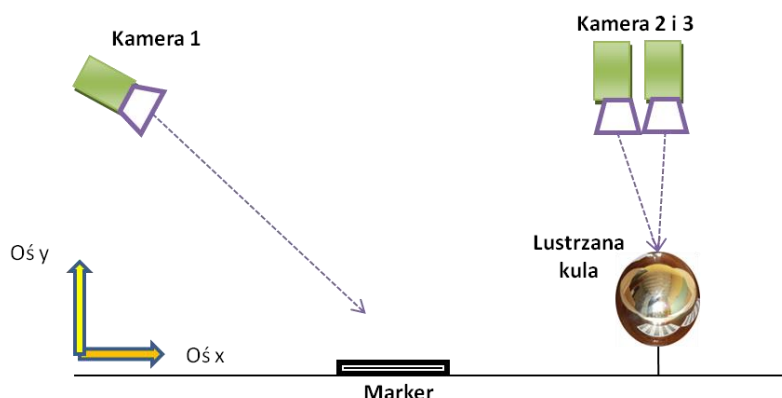
Zastosowanie każdej z tych metod niesie za sobą zarówno korzyści, jak i ograniczenia. Celem każdej z metod jest uzyskanie jak najwierniejszej informacji na temat aktualnego stanu środowiska rzeczywistego.

## 5. Oświetlanie obiektów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice

Metoda oświetlania obiektów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice do procesu oświetlenia obiektów wykorzystuje technikę IBL. Metoda ta może być wykorzystywana we wszelkiego rodzaju systemach rozszerzonej rzeczywistości do oświetlania obiektów wirtualnych, w efekcie wirtualne „rozszerzenie” staje się nierozróżnialne od obiektów rzeczywistych.

Cały proces oświetlania wirtualnego obiektu w środowisku rozszerzonej rzeczywistości (rys. 6) można podzielić na następujące kroki [9]:

- akwizycja obrazu oświetlenia środowiska przez dwie kamery (rys. 5)
  - parametry akwizycji i ustawienia kamer są zależne od oświetlenia środowiska,
  - zaleca się stosowanie kamer o możliwie największej rozdzielczości (dobre efekty uzyskuje się już przy stosowaniu kamer o rozdzielczości 640x480 pikseli),
  - poszczególne ekspozycje kamer muszą być dobrane indywidualnie do aktualnego oświetlenia środowiska, w którym się znajdują (obecnie dobór przesłon następuje na podstawie analizy obrazów HDR powstałych przy różnych ustawieniach przesłon, lecz docelowe jest zautomatyzowanie tego procesu na podstawie parametrów oświetlenia środowiska),



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia elementów w procesie oświetlania obiektów

Fig. 5. Elements in computer generated object lighting in Augmented Reality environment schema

- utworzenie obrazu oświetlenia środowiska o rozszerzonej dynamice na podstawie obrazów oświetlenia środowiska pobranych przez dwie kamery
  - w przypadku dwóch kamer mamy do czynienia z sytuacją, w której obiektywy znajdują się w niewielkiej odległości od siebie. W wyniku tego obrazy wykonane przez poszczególne kamery nieznacznie się różnią (występuje przesunięcie rys. 6) w związku

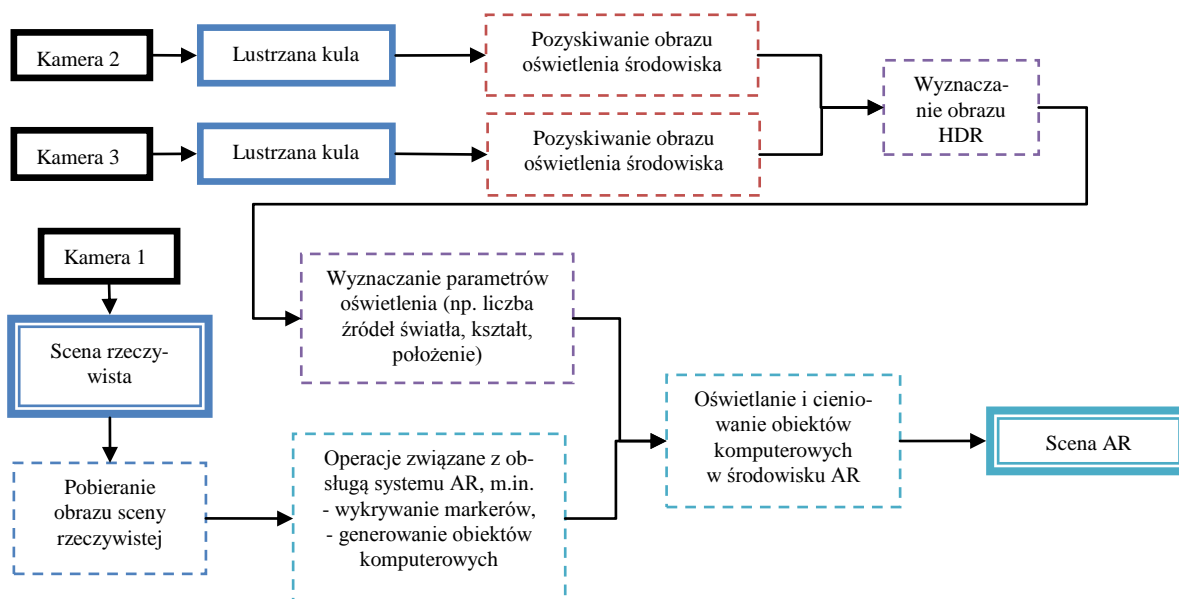
z tym konieczne jest przed utworzeniem obrazu o rozszerzonej dynamice wykonanie dodatkowej operacji dopasowywania obrazów do siebie (transformacja jednego z obrazów, tak aby obrazy dało się do siebie dopasować),

- oświetlenie wirtualnych obiektów w scenie z wykorzystaniem obrazu o rozszerzonej dynamice stworzonego z dwóch obrazów z kamer (w zależności od systemu rozszerzonej rzeczywistości, jaki jest stosowany, można wykorzystać bezpośrednio obraz o rozszerzonej dynamice lub obraz poddany operacji kompresji tonów).



Rys. 6. Obrazy lustrzanej kuli pobrane z dwóch kamer

Fig. 6. Mirror sphere images taken from two different cameras



Rys. 7. Ideowy proces oświetlenia obiektów wygenerowanych komputerowo w środowisku rozszerzonej rzeczywistości

Fig. 7. Computer generated object lighting in Augmented Reality environment schema

Na podstawie badań subiektywnych (subiektywne oceny użytkowników, grupa 102 osób, obrazy z rys. 8) obiektów komputerowych wygenerowanych w środowisku rozszerzonej rzeczywistości i oświetlonych z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice ustalono, że obiekty komputerowe oświetlone z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice są

bardziej realistyczne (ocena 8,68 punktu na 10 możliwych) niż obiekty komputerowe oświetlone z wykorzystaniem obrazów o standardowej dynamice (6,46/10), a obiekty komputerowe oświetlone z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice bardziej przypominają obiekty rzeczywiste (91,18%). Zastosowanie obrazów o rozszerzonej dynamice pozwoliło na podniesienie percepcyjnej jakości otrzymywanych obrazów.



a)



b)



c)

Rys. 8. Obiekty rzeczywiste i wygenerowane komputerowo: a) rzeczywisty, b) oświetlony z wykorzystaniem HDR, c) oświetlony z wykorzystaniem LDR

Fig. 8. Real and computer generated objects: a) real object, b) with lighting created using HDR, c) with lighting created using LDR

### 5.1. Korzyści i wady oświetlania obiektów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice

Biorąc pod uwagę technologie dostępne na rynku, zastosowanie obrazów o rozszerzonej dynamice w systemie rozszerzonej rzeczywistości nie jest zadaniem trywialnym. Mając na uwadze fakt, że obecne kamery mają znacznie ograniczoną dynamikę barw w stosunku do oka ludzkiego, ich zastosowanie w środowisku rozszerzonej rzeczywistości niesie za sobą ograniczenia pozyskanej informacji na temat środowiska rzeczywistego. Idealnym rozwiązaniem problemu byłoby zastosowanie kamery o dynamice barw zbliżonej do oka ludzkiego, lecz niestety autor na dzień dzisiejszy nie posiada informacji na temat technologii takich ka-



mer. Jednym z rozwiązań jest wykorzystanie systemu wielokamerowego do tworzenia obrazów o rozszerzonej dynamice.

Zalety:

- obiekty komputerowe oświetlone z wykorzystaniem obrazów o rozszerzonej dynamice bardziej przypominają obiekty rzeczywiste (są bardziej realistyczne) niż obrazy komputerowe oświetlone z wykorzystaniem obrazów o standardowej dynamice,
- zastosowanie obrazów o rozszerzonej dynamice pozwala na podniesienie percepcyjnej jakości otrzymywanych obrazów,
- zwiększenie wiedzy o oświetleniu w środowisku rozszerzonej rzeczywistości.

Wady:

- wykorzystanie systemu wielokamerowego (konieczność kalibracji systemu oraz jego dostosowania do aktualnych warunków oświetlenia),
- większa złożoność obliczeniowa procesu oświetlania obiektów wirtualnych w środowisku rozszerzonej rzeczywistości.

## 6. Wnioski

Oświetlenie obiektów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości musi uwzględniać środowisko rzeczywiste, w którym te obiekty się znajdują.

Problem budowy systemu rozszerzonej rzeczywistości, w którym oświetlenie obiektów wirtualnych jest wiernym odzwierciedleniem oświetlenia środowiska rzeczywistego, jest wciąż problemem trudnym w realizacji, dlatego też udoskonalenie obecnie stosowanych i opracowanie nowych metod oświetlania obiektów wygenerowanych komputerowo w środowisku rozszerzonej rzeczywistości wypełnia dotychczasowe luki systemów rozszerzonej rzeczywistości.

Analizując wyniki badań, zastosowanie do oświetlenia obiektów wirtualnych w środowisku rozszerzonej rzeczywistości obrazów o rozszerzonej dynamice wpływa znacząco na zwiększenie wiedzy o pozycji i kształcie wszystkich źródeł światła w rzeczywistej scenie oraz pozwala na podniesienie percepcyjnej jakości otrzymywanych obrazów w porównaniu z dotychczas powszechnie stosowanymi rozwiązaniami (oświetlenie z wykorzystaniem obrazów o standardowej dynamice).

**BIBLIOGRAFIA**

1. Supan P., Stuppacher I.: Image Based Lighting in Augmented Reality. Central European Seminar on Computer Graphics for students, 2006.
2. Johnson T.; McGee S.; Ortman R.; Yang T.: Exploring High Dynamic Range Imaging: §3.1 HDR Image Creation, Connexions Web site. <http://cnx.org/content/m14247/1.2/>, Dec 25, 2006.
3. Azuma R.: Overview of augmented reality. GRAPH '04: Proceedings of the conference on SIGGRAPH 2004 course notes, s. 26, 2004.
4. Azuma R.: A survey of augmented reality. Presence, 6(4), 1997, s. 355÷385.
5. Stauder J.: Augmented reality with automatic illumination control incorporating ellipsoidal models. IEEE Transactions on Multimedia, 1(2), 1999, s. 136÷143.
6. Witte K.: How to shoot a chrome ball for HDRI, Connexions Web site. <http://facultypages.scad.edu/~kwitte/>, 2009.
7. Kedzierski M., Fryskowska A.: Precise Method of Fisheye Lens Calibration. XXIth ISPRS Congress, July 2008, Beijing China.
8. Wei J., Sugimoto S., Okutomi M.: Panoramic 3D Reconstruction Using Rotating Camera with Planar Mirrors, OMNIVIS '05 Workshop, 2005.
9. Pardel P.W., Wojciechowski K.W.: "Three cameras method of light sources extraction in Augmented Reality", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6375, 1st Edition, 2010.
10. Jansen W.: Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping. A K Peters, 2001.
11. Enarsson P., Chabert C., Jones A., Ma W., Lamond B., Hawkins T., Bolas M., Sylvania S., Debevec P.: Relighting Human Locomotion with Flowed Reflectance Fields. Eurographics Symposium on Rendering, 2006.

Recenzent: Dr hab. inż. Maria Pietruszka, prof. Pol. Łódzkiej

Wpłynęło do Redakcji 2 stycznia 2011 r.

**Abstract**

Augmented Reality (AR) is a field of computer research which deals with the combination of real world and computer generated data.

Most essential aspects to make virtual objects look like real ones is lighting. It is necessary to collect image of real environment for knowledge of geometry and information about

position and shape of all light sources. In standard solution of using Image Based Lighting (IBL) in AR all images are captured from single digital camera (low dynamic range – LDR). Using High Dynamic Range (HDR) and IBL in AR environment increase knowledge about lighting calculation and extraction of the strongest light sources.

In first chapter introduction to lighting virtual objects in AR environment was presented. Second chapter present AR and main claims put for AR systems. Chapter “High Dynamic Range Images” show general issues of HDR technique. In chapter four technique of calculate lighting from an image of the environment was presented. Next chapter present lighting virtual object in AR environment with using HDR images. Last chapter present conclusion about using HDR images to lighting virtual objects in AR environment.

### **Adres**

Przemysław Wiktor PARDEL: Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Informatyki, ul. Dekerta 2, 45 030 Rzeszów, Polska, przemyslaw.pardel@gmail.com .