

PROBLEM AUTOMATYCZNEGO POMIARU ZNACZKÓW TŁOWYCH NA ZDJĘCIACH LOTNICZYCH

THE PROBLEM OF AUTOMATIC MEASUREMENT OF FIDUCIAL MARK ON AIR IMAGES

Tomasz Chwastek, Sławomir Mikrut

Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: automatyzacja, fotogrametria cyfrowa, zdjęcia lotnicze, znaczki tłowe, pomiar

STRESZCZENIE: Gwałtowny rozwój zainteresowania fotogrametrią w ostatnich latach spowodowany jest głównie faktem wprowadzenia technologii cyfrowej. Oprócz szybkiego dostępu do danych istotnym czynnikiem jest możliwość automatyzacji niektórych procesów. Dzisiejsze, dostępne na rynku oprogramowanie komercyjnie pozwala skrócić czas opracowań fotogrametrycznych prawie do minimum. Prace nad zautomatyzowaniem etapów produkcji fotogrametrycznej realizowane są w wielu ośrodkach naukowo-badawczych i nie tylko, na całym świecie. Również w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie prowadzone są badania w tym kierunku. Automatyzacja pomiarów na obrazach cyfrowych może podnieść jakość i wydajność opracowań fotogrametrycznych. Wyniki badań przedstawione poniżej, pozwalają optymistycznie patrzeć w rozwój własnych algorytmów i oprogramowania. Ma to duże znaczenie, ponieważ bazowanie na własnym oprogramowaniu pozwala na jego szybki i nieograniczony rozwój. Zautomatyzowanie pomiarów znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych jest pierwszym krokiem w kierunku automatyzacji dalszych etapów technologii fotogrametrycznej. Artykuł niniejszy ma na celu zaprezentowanie ciekawych dokonań „młodych adeptów sztuki fotogrametrycznej” w AGH, w tym temacie. W artykule opisano przykład zaimplementowania powstałych algorytmów pod kątem konkretnego zastosowania tj. automatycznego pomiaru znaczków tłowych na obrazie cyfrowym, przy zadanych parametrach orientacji wewnętrznej. Opisano autorski program „Interior Orientation”, pozwalający na automatyczną orientację wewnętrzną. Sprawdzono poprawność jego działania oraz określono jego przydatność do zastosowań fotogrametrycznych, a także porównano go z profesjonalnym oprogramowaniem. Manualnego pomiaru dokonano na oprogramowaniu Dephos oraz półautomatycznego w PCI Geomatica. Uzyskano porównywalną dokładność na poziomie 0,25 piksela. Praca została sfinansowana ze środków na naukę w latach 2004-2007, jako projekt badawczy Nr 4T12E 001 27 „Ocena efektywności wykorzystania sieci neuronowych w procesach automatycznej korelacji zdjęć lotniczych”.

1. WSTĘP

Rozwój fotogrametrii w ostatnich latach spowodowany jest głównie faktem wprowadzenia nowej technologii - cyfrowej. Oprócz szybkiego dostępu do danych,

istotnym czynnikiem jest możliwość automatyzacji niektórych procesów. Dzisiejsze, dostępne na rynku oprogramowanie komercyjne pozwala skrócić czas opracowań fotogrametrycznych prawie do minimum. Zagadnienia związane z automatyzacją pomiarów na obrazach cyfrowych są już od dawna przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie. Podobnie jest również w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH w Krakowie. Już pod koniec lat osiemdziesiątych podjęto próby idące w kierunku rozwoju algorytmów automatycznej detekcji cech. Po skonstruowaniu autografu analityczno-cyfrowego VSD, przeprowadzono badania związane z automatyczną lokalizacją siatki „reseau” z podpikselową dokładnością, zakończone rozprawą doktorską mgr inż. W. Trochy (Trocha, 1993). Kolejne lata to próby wykorzystania drugiej pochodnej obrazu cyfrowego do lokalizacji krawędzi z podpikselową dokładnością (Jachimski *et al.*, 1998), automatyczne śledzenie linii wysokiego napięcia odfotografowanej na obrazie cyfrowym (Cieślak, 2000) oraz dalsze testy z zaimplementowaniem algorytmów do ekstrakcji cech na kolorowych obrazach zdjęć lotniczych i satelitarnych (Mikrut, 2003). W pracach tych autorom zawsze przyświecał cel tworzenia własnego oprogramowania. W niniejszych badaniach, oprogramowano metodę automatycznego pomiaru znaczków tłowych.

Artykuł niniejszy ma na celu zaprezentowanie ciekawych dokonań „młodych adeptów sztuki fotogrametrycznej” w AGH w tym temacie. Praca magisterska Pana Tomasza Chwastka pt. „Oprogramowanie automatycznej metody pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych”, jest przykładem zaimplementowania powstałych algorytmów pod kątem konkretnego zastosowania, w tym przypadku, automatycznego pomiaru znaczków tłowych na obrazie cyfrowym, przy zadanych parametrach orientacji wewnętrznej.

2. ISTOTA KORELACJI I „MATCHINGU”

Pojęcie korelacji nie jest związane tylko i wyłącznie z obrazami cyfrowymi i fotogrametrią. Najogólniej, korelacja obrazu polega na odnajdywaniu tych samych punktów na obrazach przedstawiających ten sam obiekt lub scenę. Proces ten nieprzerwanie zachodzi w ludzkim mózgu, w ośrodku wzroku, który łączy obrazy zarejestrowane przez prawe i lewe oko, umożliwiając nam trójwymiarową percepcję przestrzeni. To naturalne dopasowanie obrazu jest też wykorzystane w klasycznej analogowej fotogrametrii podczas obserwacji stereoskopowych par fotografii z wykorzystaniem stereoskopu.

W fotogrametrii cyfrowej korelacja jest jednym z najważniejszych zagadnień. Przełomowym był rok 1957, kiedy to Gilbert Hobrough zaprezentował swoją koncepcję korelacji obrazów na stacji roboczej Kelsh'a. To właśnie od tego momentu możemy zacząć mówić o automatyzacji w fotogrametrii. Co prawda ówczesna technologia zmuszała do analogowego przeprowadzania procesu korelacji tzn. przy pomocy pewnego urządzenia porównywane były poziomy szarości zobrazowań, ale rozwiązania zaprezentowane przez Hobrough'a były przełomowym wydarzeniem w dziejach fotogrametrii. Minęło prawie pół wieku od tego wydarzenia, a w fotogrametrii w tym czasie wiele się zmieniło. Zasadnicza różnica, w stosunku do klasycznej fotogrametrii, polega na tym, że pracując z obrazem cyfrowym, wyszukiwanie i pomiar punktów homologicznych może przebiegać w sposób automatyczny. W Polsce automatyczny pomiar określany jest mianem autokorelacji (ang. *matching*).

Metody korelacji obrazów można podzielić na trzy główne grupy:

- korelacja oparta na jasnościach (ang. *Area Based Matching - ABM*),
- korelacja oparta na cechach (ang. *Feature Based Matching - FBM*),
- korelacja oparta na relacjach (ang. *Relational (Symbolic) Matching*).

Metody te różnią się głównie zaawansowaniem algorytmów dopasowania, od prostej korelacji liczonej pomiędzy jasnościami pikseli do zaawansowanych algorytmów badających relacje między obiektami (cechami) na obrazach cyfrowych.

3. AUTOMATYZACJA POMIARU ZNACZKÓW TŁOWYCH

3.1 Orientacja wewnętrzna

Orientacja wewnętrzna jest jednym z podstawowych i najważniejszych etapów wielu procesów fotogrametrycznych. Jest ona tak ważna, gdyż, aby możliwe było dokonywanie na zdjęciach jakichkolwiek pomiarów, mających na celu określenie rzeczywistej wielkości i kształtu odfotografowanych obiektów terenowych, konieczna jest znajomość elementów orientacji zdjęcia. Elementy orientacji wewnętrznej to współrzędne punktu głównego w układzie współrzędnych tłowych oraz ogniskowa kamery f (tzw. stała kamery), czyli odległość między środkiem rzutu, a płaszczyzną obrazu. Parametry te są wyznaczone w procesie kalibracji kamery. Problem orientacji wewnętrznej polega na tym, że położenie punktu głównego jest znane w układzie tłowym, a nie w układzie pikselowym, zatem zadaniem orientacji wewnętrznej jest wyznaczenie geometrycznej zależności między tymi układami.

Dla obrazów cyfrowych otrzymanych w procesie skanowania zdjęć z kamer analogowych, a z takimi mamy głównie do czynienia w Polsce, parametry transformacji obliczane są na podstawie znanych współrzędnych znaczków tłowych w obu układach. Współrzędne znaczków tłowych w układzie tłowym są znane, stałe dla konkretnej kamery, a wyznaczone są w procesie kalibracji kamery. Natomiast współrzędne w układzie pikselowym pozyskiwane są w trakcie wykonywania orientacji wewnętrznej, czyli pomiaru znaczków tłowych. Pomiar taki musi być przeprowadzany dla każdego zdjęcia, gdyż położenie znaczków w układzie pikselowym zmienia się dla każdego zdjęcia. Wpływ na taki stan mają zarówno błędy wynikające z deformacji materiału negatywowego, jak i wiele czynników procesu skanowania m.in. ułożenie zdjęcia względem skanera, rozdzielczość skanowania, skanowanie różnymi skanerami.

Transformacja między układami przeprowadzana jest z wykorzystaniem wzorów na transformację afiniczną z uwzględnieniem takich parametrów jak przesunięcie układów, obrót, zmiana skali oraz nieortogonalność układów.

3.2 Korelacja do pomiaru znaczków tłowych

Algorytm wykorzystany w programie „Interior Orientation wersja 1.0” odpowiedzialny za automatyczną detekcję znaczków tłowych podzielony został na dwa

etapy. Pierwszym z nich jest wyznaczenie przybliżonego położenia znaczków. W tym celu wykorzystana została metoda korelacji obrazów cyfrowych zwana korelacją krzyżową (ang. *cross correlation*). W metodzie tej na podstawie różnic jasności między odpowiednimi pikselami obu obrazów, wyznaczane jest takie położenie w oknie poszukiwawczym, w którym podobieństwo obrazu do wzorca jest największe. Miarą podobieństwa między tymi obrazami jest obliczony maksymalny współczynnik korelacji. Wyznaczany jest on na podstawie znajomości wartości odchyłeń standardowych oraz kowariancji. Współrzędne piksela, dla którego wartość współczynnika korelacji jest największa, określają położenie znaczka tłowego z pikselową dokładnością.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_1(i, j) - \bar{g}_1)(g_2(i, j) - \bar{g}_2)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_1(i, j) - \bar{g}_1)^2)(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_2(i, j) - \bar{g}_2)^2)}} \quad (1)$$

gdzie:

i, j - numer wiersza i kolumny obrazu w oknie wzorcowym,

M, N - ilość wierszy i kolumn obrazu w oknie wzorcowym,

$g_1(i, j)$ - jasność piksela w oknie wzorcowym,

$g_2(i, j)$ - jasność piksela w oknie poszukiwawczym,

\bar{g}_1 - średnia wartość jasności pikseli w oknie wzorcowym,

\bar{g}_2 - średnia wartość jasności pikseli w oknie poszukiwawczym.

Drugim etapem działania algorytmu jest wyznaczenie współrzędnych znaczków tłowych z podpikselową dokładnością. Zastosowane zostało następujące rozwiązanie. Jasności pikseli leżących w bezpośrednim otoczeniu piksela, dla którego uzyskano maksymalny współczynnik korelacji, tworzą powierzchnię aproksymowaną równaniem postaci:

$$g = a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_0 \quad (2)$$

gdzie:

X, Y - współrzędne piksela,

g - wartość jasności piksela o współrzędnych X, Y ,

$a_0 \dots a_5$ - współczynniki równania.

Układ równań rozwiązany zostaje metodą najmniejszych kwadratów, a wynikiem rozwiązania są współczynniki równania $a_0 \dots a_5$.

Położenie znaczków tłowych z podpikselową dokładnością uzyskujemy zakładając istnienie ekstremum funkcji w punkcie o współrzędnych X_{\max} , Y_{\max} . Dla takiego założenia zachodzić musi warunek konieczny istnienia, ekstremum dla funkcji dwóch zmiennych $z = f(x,y)$.

Warunek konieczny, czyli zerowanie pochodnych cząstkowych pierwszego rzędu, postaci ogólnej $\frac{\partial f}{\partial x} = 0$ i $\frac{\partial f}{\partial y} = 0$ w przypadku równania powierzchni ma postać:

$$a_1 + 2a_4 X_{\max} + a_3 Y_{\max} = 0$$

$$a_2 + a_3 X_{\max} + 2a_5 Y_{\max} = 0.$$

Rozwiązaniem takiego układu równań są współrzędne X_{\max} , Y_{\max} będące współrzędnymi znacznika tłowego w pikselowym układzie współrzędnych.

3.3 Program „Interior Orientation 1.0”

Autorski program „Interior Orientation 1.0” jest programem służącym do prezentacji i przetwarzania obrazów cyfrowych. Jego głównym zadaniem jest automatyczne przeprowadzanie orientacji wewnętrznej na zdjęciach lotniczych. Napisany został z wykorzystaniem języka programowania „Microsoft Visual C++ w wersji 6.0” w środowisku Microsoft Windows XP. Program obsługuje obrazy cyfrowe zapisane w postaci mapy bitowej BMP. Powstał w oparciu o standardowe biblioteki klas MFC (ang. *Microsoft Foundation Class*). MFC jest zorganizowane jako hierarchia klas C++ i dostarcza obiektowo zorientowanego szkieletu. Kilka klas wysokiego poziomu zapewnia ogólną funkcjonalność, podczas gdy klasy niższych poziomów implementują bardziej specyficzne zachowanie. Każda z klas niskiego poziomu jest wyprowadzona z klasy wysokiego poziomu, dziedziczy, zatem jej działanie. Dla programu „Interior Orientation 1.0” klasą bazową jest klasa CDialog, gdyż jest to program oparty na oknie dialogowym.

Główne okno programu składa się z przestrzeni roboczej, w której wyświetlane są otwierane obrazy, paska narzędzi zawierającego skróty do podstawowych funkcji oraz paska menu, zawierającego wszystkie funkcje, w które program został wyposażony. W obszarze roboczym zdefiniowany został układ współrzędnych, w którym to wyznaczane są współrzędne znaczków tłowych. Program oprócz modułu odpowiedzialnego za automatyczny pomiar znaczków tłowych posiada także inne funkcje. Możliwe jest zamiana obrazu z pozytywu na negatyw, przejście z formatu 24 bitowego na 8 bitowy, a także wykonanie filtracji kontekstowej z wykorzystaniem dolnoprzepustowych filtrów (ang. *low-pass filter*) uśredniającego i Gaussa oraz górnoprzepustowego filtra (ang. *high-pass filter*) Laplace’a i gradientu Sobela. Są to jednak tylko moduły dodatkowe, gdyż istotą działania programu „Interior Orientation 1.0” jest automatyczny pomiar znaczków tłowych. Więcej szczegółów odnośnie programu można znaleźć w pracy magisterskiej T.Chwastka (Chwastek, 2005).

3.4 Badania

Celem doświadczenia było określenie stopnia przydatności programu „Interior Orientation 1.0” w pracach fotogrametrycznych. W doświadczeniu wykorzystano 10 zdjęć lotniczych wykonanych kamerą RC20. Na zdjęciach wykonanych taką kamerą znajdują się cztery znaczki tłowe umieszczone w narożnikach zdjęcia. Orientacja wewnętrzna wykonana została programami Interior Orientation 1.0 oraz Dephos 4.14 i PCI Geomatica V9.1. Pomiar wykonany został w trzech etapach. Po pierwsze niezależnie przez dwóch operatorów manualnie na stacji Dephos. Następnie wykonano pomiar półautomatyczny z wykorzystaniem PCI Geomatica. Pomiar półautomatyczny polega na tym, że manualnie mierzone są znaczki tłowe na jednym zdjęciu należącym do danego projektu, a na pozostałych wykrywane są one automatycznie. Ostatnim etapem doświadczenia był automatyczny pomiar z wykorzystaniem programu „Interior Orientation 1.0”.

4. WYNIKI

W wyniku przeprowadzenia orientacji wewnętrznej dla 10 zdjęć lotniczych trzema programami DEPHOS, PCI Geomatica oraz Interior Orientation uzyskano zestaw par współrzędnych dla czterdziestu niezależnie pomierzonych znaczków tłowych. Pierwszej analizie poddano wyniki otrzymane z profesjonalnych programów, czyli DEPHOS i PCI. Oczywistym jest fakt, że zarówno pomiar manualny przez dwóch operatorów na tej samej stacji, jak i pomiar różnymi programami daje wyniki różniące się między sobą. Spowodowane jest to różną interpretacją położenia znaczków przez operatorów, lub zastosowaniem różnych algorytmów automatycznie wykrywających znaczki. Analiza ta miała na celu pokazanie, na jakim poziomie kształtują się różnice między tak pomierzonymi współrzędnymi. Miało to być punktem odniesienia dla pomiaru programem „Interior Orientation 1.0”.

Na podstawie różnic w lokalizacji znaczków wyznaczono średnią odchyłkę lokalizacji punktu, odchylenie standardowe oraz wartości odchyłek maksymalnej i minimalnej (tabela 1 i 2).

Tabela 1. Pomiar manualny przez dwóch operatorów na stacji DEPHOS

DEPHOS operator1 – DEPHOS operator2	
średnia	0.2498 pix
odch. st.	0.1177 pix
max	0.586 pix
min	0.015 pix

Tabela 2. Pomiar manualny przez jednego z operatorów na stacji DEPHOS oraz pomiar półautomatyczny programem PCI Geomatica

PCI – DEPHOS operator 1

średnia	0.2295 pix
odch. st.	0.1385 pix
Max	0.663 pix
Min	0.034 pix

Widać, zatem, że średnia odchyłka w pomiarze znaczków tłowych przez różnych operatorów, czy też z wykorzystaniem różnych programów kształtuje się na podobnym poziomie, nie przekraczając wartości $dp = 0.250$ piksela. Zatem dokładność automatycznego pomiaru znaczków tłowych programem „Interior Orientation” powinna spełniać wyznaczony powyżej warunek, czyli średnia różnica w lokalizacji punktu nie powinna przekraczać wartości $dp = 0.250$ piksela.

Ponownie wyznaczono średnią odchyłkę lokalizacji punktu, odchylenie standardowe oraz wartości odchyłek maksymalnej i minimalnej (Tabela 3 i 4).

Tabela 3. Pomiar manualny przez jednego z operatorów na stacji DEPHOS oraz pomiar automatyczny programem „Interior Orientation”

DEPHOS operator 1 – Interior Orientation

średnia	0.1955 pix
odch. st.	0.0761 pix
max	0.334 pix
min	0.016 pix

Tabela 4. pomiar półautomatyczny programem PCI Geomatica oraz pomiar automatyczny programem „Interior Orientation”

PCI – Interior Orientation

średnia	0.2477 pix
odch. st.	0.1329 pix
max	0.668 pix
min	0.029 pix

Wyniki pokazują jasno, że zarówno w stosunku do pomiaru manualnego, jak i półautomatycznego z wykorzystaniem profesjonalnego fotogrametrycznego oprogramowania, program „Interior Orientation” pozwala osiągnąć wyniki na podobnym poziomie dokładności, czyli dokładność lokalizacji punktu $dp = 0.250$ piksela.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Automatyzacja pomiarów na obrazach cyfrowych może podnieść jakość i wydajność opracowań fotogrametrycznych. W ramach badań prowadzonych w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH powstał program komputerowy, autorstwa Tomasza Chwastka, napisany w języku „Microsoft Visual C++ w wersji 6.0”, pozwalający na automatyczny pomiar znaczków tłowych na obrazach cyfrowych uzyskanych z zeskanowanych zdjęć lotniczych.

Program został poddany testowaniu i porównany z podobnym komercyjnym oprogramowaniem tj. Dephos (pomiar manualny) oraz PCI Geomatica (pomiar półautomatyczny). Uzyskane wyniki pokazują jasno, że zarówno w stosunku do pomiaru manualnego, jak i półautomatycznego z wykorzystaniem profesjonalnego fotogrametrycznego oprogramowania, program „Interior Orientation” pozwala osiągnąć wyniki na podobnym poziomie dokładności, czyli dokładność lokalizacji punktu $dp = 0.250$ piksela.

Pierwsze badania pozwalają więc optymistycznie patrzeć w rozwój własnych algorytmów i oprogramowania. Ma to duże znaczenie, ponieważ bazowanie na własnym oprogramowaniu pozwala na jego szybki i nieograniczony rozwój. Zautomatyzowanie pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych jest pierwszym krokiem w kierunku automatyzacji dalszych etapów technologii fotogrametrycznej.

5. LITERATURA

Cieślak J., 2000, Automatyzacja śledzenia linii na obrazach cyfrowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 10, s. 31-1 - 31-7

Chwastek T., 2005, Oprogramowanie automatycznego pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych. *Praca magisterska*, AGH.

Jachimski J., Mikrut S., 1998, Próba subpikselowej lokalizacji linii konturowych z wykorzystaniem drugiej pochodnej obrazu cyfrowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8.

Mikrut S., 2003. Wpływ skanowania i kompresji według standardu JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych. *Rozprawa doktorska*, AGH.

Trocha W., 1993, Automatyzacja pomiaru wzorców reseau na zdjęciach fotogrametrycznych z wykorzystaniem kamery CCD i autografu analitycznego. *Rozprawa doktorska*, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH

THE PROBLEM OF AUTOMATIC MEASUREMENT OF "FIDUCIAL MARK" ON AIR IMAGES

KEY WORDS: automatization, digital photogrammetry, air photography, fiducial mark, measurement

Summary

The violent development of interest in photogrammetry in recent years has been caused mainly by the introduction of digital technology. In addition to quick access to databases, another critical factor is the possibility of automatization of some of the processes. The contemporary software, available on commercial market, allows to cut the time of photogrammetric work almost to the minimum. The work on the automatization of steps in photogrammetry production are carried out in many research and development centres, and not only, in the whole world. Also, the Department of Photogrammetry and Remote Sensing of the University of Science and Technology in Cracow (AGH) conducts research related to that direction. The automatization of measurements on digital images can increase quality and efficiency of photogrammetric work. The results as shown below allow to look with optimism to the development of own algorithms and softwares. It has a great importance, because relying on own software enables its quick and unlimited development. Automatization of fiducial mark measurements on air photography is the first step towards automatization of photogrammetric processes. The aim of this paper is to present interesting achievements in this area, made by "junior photogrammetry research workers" from the University of Science and Technology in Cracow (AGH). This paper presents an example of the implementation of developed algorithms, from the point of view of specific use, i.e. the automatic measurement of the fiducial mark on a digital image with known internal orientation parameters. The original "Interior Orientation" software, which enables automatic internal orientation has been described. The correctness of its operation has been checked along with its usefulness to photogrammetric applications. The software has also been compared to the professional one. The manual measurement was carried out with the use of the Dephos software, while the semi-automatic one under the PCI Geomatica system. The received results were on the comparable level of accuracy of 0.25 pixels.

This project was financed from financial resources allocated towards research in 2004-2007, as the research project No. 4T12E 001 27 "The Evaluation of the Effective Use of Neural Networks in Processes of Automatic Correlation of Air Images".

Dane autorów:

Mgr. inż. Tomasz Chwastek
e-mail: chwasciu@poczta.onet.pl
telefon: (012) 617 23 02

Dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
telefon: (012) 617 23 02
fax: (012) 633 17 91