

PRZETWARZANIE OBRAZÓW RADAROWYCH TECHNIKĄ PSINSAR

RADAR IMAGE PROCESSING USING PERMANENT SCATTERERS TECHNIQUE

Stanisława Porzycka, Andrzej Leśniak

Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, AGH Kraków

SŁOWA KLUCZOWE: interferometria radarowa, PSInSAR, przemieszczenia terenu, SPS, TPS, APSA

STRESZCZENIE: W artykule opisano wdrażaną obecnie na świecie technikę przetwarzania obrazów radarowych: PSInSAR. Polega ona na wykorzystaniu dużej liczby zobrażeń typu SAR w celu detekcji powolnych przemieszczeń punktów PS. Punkty te to tzw. stabilne rozpraszacze, odpowiadające takim obiektom terenu jak budynki, mosty, wiadukty, wychodnie skał itp.. Przetwarzanie długich serii obserwacyjnych umożliwiło eliminację niektórych ograniczeń klasycznej interferometrii radarowej InSAR. W artykule przedstawiono główne etapy standardowej analizy SPSA oraz założenia analizy zaawansowanej APSA. W pracy poruszony został temat wzbogacenia zbioru punktów PS o punkty, które zachowują się jak stabilne rozpraszacze tylko na ograniczonej liczbie obrazów radarowych, czyli tzw. punkty SPS i TPS. W artykule wymieniono i opisano zarówno zalety jak i ograniczenia techniki PSInSAR.

1. WPROWADZENIE

Rok 1972 był bardzo ważny dla rozwoju teledetekcji satelitarnej. W roku tym NASA umieściła na orbicie satelitę ERTS (ang. *Earth Resources Technology Satellite*) nazwanego później Landsat-1. Z jego pokładu wykonanych zostało ponad 300 000 zobrażeń naszej planety. Okazały się one niezastąpione w badaniu zasobów i zmian środowiska naturalnego. Obecnie na orbitach okołoziemskich umieszczane są coraz nowsze satelity, wyposażone w zaawansowaną aparaturę badawczą służącą do monitoringu Ziemi. Wśród satelitów, należy zwrócić uwagę na te, które wyposażone są w system SAR (ang. *Synthetic Aperture Radar*).

SAR to radar z anteną syntetyzowaną. Generuje on promieniowanie mikrofalowe i rejestruje je po odbiciu od powierzchni Ziemi. Każdy piksel obrazu radarowego zawiera informacje zarówno o amplitudzie jak i fazie sygnału odbitego (Gupta, 2003). Zaletą systemu jest możliwość ciągłej obserwacji Ziemi bez względu na porę dnia, czy warunki atmosferyczne. Pierwszym satelitą, wyposażonym w system SAR, był umieszczony na orbicie w roku 1978 Seasat. Obecnie do satelitów mikrofalowych należą m.in. satelity Europejskiej Agencji Kosmicznej: ERS-2, ENVISAT, japoński ALOS, oraz kanadyjski RADARSAT-1. Wykorzystanie zjawiska interferencji fal radarowych w przetwarzaniu obrazów typu SAR odgrywa kluczową rolę w detekcji deformacji terenu spowodowanych

np. trzęsieniami ziemi (Massonnet et al., 1993), aktywnością wulkaniczną (Briole P., 1997), czy eksploatacją górniczą (Perski, 1999).

Rozwój klasycznej, satelitarnej interferometrii radarowej InSAR (ang. *Interferometry Synthetic Aperture Radar*) miał miejsce w latach 90-tych ubiegłego wieku. W tym czasie na orbitach okołoziemskich umieszczone zostały kolejne satelity mikrofalowe, m.in. ERS-1 (1991), JERS (1992), SIR-C (1994), ERS-2 (1995) oraz RADARSAT-1 (1995). Technika InSAR wykorzystywana jest m.in. do tworzenia cyfrowego modelu terenu DEM (ang. *Digital Elevation Model*), z dokładnością rzędu jednego metra, oraz detekcji przemieszczeń obiektów terenu, z dokładnością rzędu kilku milimetrów (Smith L.C., 2002).

Metoda InSAR polega na przetwarzaniu dwóch obrazów radarowych wykonanych z różnych pozycji i/lub w różnym czasie. Obrazy nakładane są na siebie i dla każdego ich piksela obliczana jest różnica faz sygnału radarowego. W rezultacie powstaje obraz złożony z prążków interferencyjnych. Pomimo ogromnej użyteczności metody InSAR, posiada on jednak pewne ograniczenia. Wynikają one z czasowej i geometrycznej dekorelacji sygnału, a także z niejednorodności atmosfery. Dekorelacja czasowa związana jest przede wszystkim z obecnością szaty roślinnej, obfitymi opadami śniegu, czy deszczu. Niejednorodność atmosfery tworzy natomiast tzw. fazowy ekran atmosferyczny (APS, ang. *Atmospheric Phase Screen*), który zaznacza się na każdym obrazie radarowym. Dekorelacja sygnału wywołana zmianami czasowymi powierzchni, podobnie jak dekorelacja spowodowana zmianami atmosfery ma najistotniejszy wpływ na jakość obrazu w przypadku interferometrii z kilku przejść satelity (ang. *repeat-pass interferometry*). W przypadku interferometrii jednego przejścia satelity (ang. *single-pass interferometry*) czynnikiem ograniczającym jakość obrazu jest duża odległość bazowa interferogramu.

Wyżej wymienione ograniczenia można wyeliminować lub znacznie zmniejszyć poprzez przetwarzanie długich serii obserwacyjnych. Wykorzystanie wielu obrazów radarowych stanowi podstawę techniki PSInSAR.

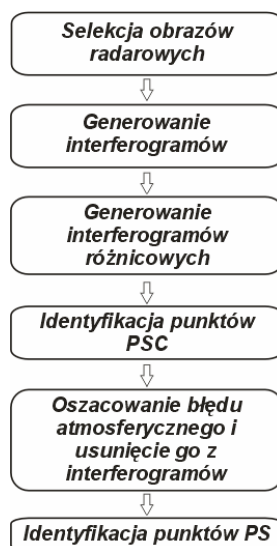
2. INTERFEROMETRIA STABILNYCH ROZPRASZACZY (PSINSAR)

Technika PSInSAR została opracowana w latach 90-tych przez naukowców z politechniki w Mediolanie. Jej podstawy teoretyczne przedstawione zostały w 1999 roku, w Niemczech podczas konferencji IGARSS (ang. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*).

Technika PSInSAR, w odróżnieniu od klasycznej metody InSAR, polega na przetwarzaniu dużej liczby obrazów radarowych (więcej niż 30) tego samego obszaru, wykonanych w różnym czasie. Metoda ta umożliwia wyznaczenie deformacji terenu tylko tych obiektów terenu, które charakteryzują się wysokim rozpraszaniem wstecznym (znaczną część sygnału radarowego zostaje odbita w stronę anteny SAR). Obiekty te to tzw. stabilne rozpraszacze (PS, ang. *Permanent Scatterers* lub *Persistent Scatterers*). Rejestrowane przez system SAR składowe (amplituda i faza) sygnału odbitego od punktów PS wykazują wysoką stabilność w czasie, tj. wartości te nie zmieniają się znacząco podczas kolejnych przelotów satelity. Stabilne rozpraszacze odpowiadają takim obiektom terenu jak budynki, mosty, wiadukty, latarnie, wychodnie skał itp.. Technika PSInSAR sprawdza się najlepiej na obszarach zabudowanych, ponieważ najwięcej stabilnych rozpraszaczy znajduje się właśnie na takich terenach. Główną zaletą interferometrii stabilnych rozpraszaczy jest eliminacja ograniczeń, które pojawiają się w przypadku metody InSAR, a także możliwość

wykorzystania wszystkich zobrazowań radarowych tego samego obszaru (dla tej samej ścieżki i kadru) bez względu na ich odległość bazową (Perski, 2006).

Proces przetwarzania danych radarowych w technice PSInSAR można generalnie podzielić na kilka etapów, z których cztery odgrywają kluczową rolę (Ferretti et al., 2000): generowanie interferogramów, obliczanie interferogramów różnicowych (ang. *differential interferograms*), identyfikacja punktów PSC oraz identyfikacja punktów PS (Rys. 1).



Rys. 1 Schemat przetwarzania danych w technice PSInSAR

2.1. Obliczenie interferogramów i interferogramów różnicowych

Pierwszym wymienionym etapem przetwarzania zestawu $N+1$ obrazów radarowych, jest generowanie N interferogramów. Każdy z nowopowstałych N interferogramów obliczany jest względem tego samego obrazu referencyjnego (ang. *master image*), który powinien być położony centralnie zarówno w ujęciu bazy geometrycznej jak i czasowej.

Wartość fazy sygnału dla pojedynczego piksela obrazu radarowego zmienia się w zależności od kilku czynników, tj. od względnej odległości między satelitą a obiektem terenu, od zmian samego obiektu, które zaszły w czasie pomiędzy wykonaniem kolejnych zobrazowań satelitarnych oraz od niejednorodności atmosfery (Ferretti et al., 2001; Kampes 2006; Lauknes et al., 2007).

Różnica faz dwóch obrazów radarowych zależy od kilku komponentów wymienionych we wzorze (1) (Ferretti et al., 2001; Kampes, 2006):

$$(1) \Phi = \Phi_{topo} + \Phi_{defo} + \Phi_{deco} + \Phi_{atmo}$$

gdzie:

Φ_{topo} -składnik wpływu geometrii zobrazowania (topografia i pozycja satelity)

Φ_{defo} -składnik związany z przemieszczeniem terenu

Φ_{deco} -składnik związany z dekorelacją czasową i geometryczną

Φ_{atmo} -składnik wpływ niejednorodności atmosfery

Następnym etapem jest obliczenie N interferogramów różnicowych (ang. *differential interferograms*) względem referencyjnego cyfrowego modelu terenu. DEM może być wygenerowany z dostępnego zbioru zobrazowań radarowych pozyskanych w niewielkich odstępach czasu. Interferogramy różnicowe, a dokładniej obliczone wartości różnic faz, stanowią podstawę do dalszych obliczeń.

Jak wiadomo każdy numeryczny model terenu obarczony jest pewnym błędem. Dokładność DEM zależy m.in. od wykorzystanej metody pozyskiwania danych wysokościowych i w istotny sposób wpływa na precyzję wyznaczenia deformacji w technice PSInSAR. W ostatnich latach na Uniwersytecie w Nottingham opracowana została metoda IAS (ang. *Integer Ambiguity Search*), która umożliwia pomiar deformacji punktów PS bez użycia DEM (Warren, 2007; Sorter, 2003). Rozwiązanie to w znaczący sposób wpływa na dokładność techniki PSInSAR.

2.2. Identyfikacja punktów PSC

Kolejnym etapem procesu przetwarzania obrazów SAR jest identyfikacja kandydatów na punkty PS, czyli wyznaczenie tzw. punktów PSC (ang. *Permanent Scatterers Candidates*). Zadanie to wykonać można poprzez analizę wartości amplitudy sygnału dla poszczególnych pikseli, dla kolejnych obrazów radarowych. Wcześniej obrazy muszą zostać poddane kalibracji radiometrycznej. Dla każdego piksela obrazu SAR obliczany jest wskaźnik dyspersji amplitudy w czasie (2)(Ferretti et al., 2001).

$$(2) D_A = \frac{\sigma_A}{m_A} = \sigma_v$$

gdzie:

D_A -wskaźnik dyspersji amplitudy

σ_A -odchylenie standardowe wartości amplitudy w rozpatrywanym przedziale czasowym

m_A -średnia wartość amplitudy w rozpatrywanym przedziale czasowym

σ_v - odchylenie standardowe fazy sygnału w rozpatrywanym przedziale czasowym

Następnie ustalana jest wartość progowa wskaźnika dyspersji (zazwyczaj 0.25) (Ferretti et al., 2001). Jeżeli wartość wskaźnika dyspersji dla danego piksela jest mniejsza niż wartość progowa, to piksel ten zostaje wydzielony jako punkt PSC.

Identyfikacja punktów PSC może być wykonana z wykorzystaniem bardziej skomplikowanych algorytmów statystycznych. Jednak w przypadku, gdy dysponujemy

dużym zbiorem obrazów SAR (więcej niż 30) wtedy zaprezentowana analiza dyspersji amplitudy sprawdza się bardzo dobrze.

Warto również wspomnieć o jeszcze jednej metodzie wyznaczania kandydatów na punkty PS. Algorytm ten opiera się na badaniu map koherencji powiązanych z interferogramami. Jeżeli obiekt charakteryzuje się koherencją większą niż założona wcześniej wartość progowa, wtedy zostaje on zaklasyfikowany do punktów PSC. W metodzie tej jednak napotykamy na pewne problemy związane z dużą dyspersją odległości bazowej i ograniczoną dokładnością DEM (Ferretti et al., 2001; Kampes 2006). Wiąże się z tym przestrzenne uśrednianie danych w przyjętym oknie estymacji. Wybór odpowiedniej wielkości okna estymacji, a także ustalenie wartości progowej jest zadaniem trudnym.

2.3. Identyfikacja punktów PS

Dla każdego punktu PSC wyznaczany jest błąd wynikający z niedokładności DEM, a także obliczana jest wartość szybkości przemieszczeń tego punktu w kierunku linii celowej (LOS, ang. *Line Of Sight*). Dla poszczególnych punktów PSC wyznaczany jest również wpływ niejednorodności atmosfery. W dalszej kolejności, dla kolejnych pikseli, wykonywana jest interpolacja wpływu atmosfery. Do interpolacji może być wykorzystana geostatystyczna metoda interpolacji danych, tj. kriging. W metodzie tej wykorzystywana jest informacja o przestrzennym zróżnicowaniu wartości badanego parametru. Warto zaznaczyć, że wartości zakłóceń atmosferycznych są skorelowane w przestrzeni, a nie są skorelowane w czasie. Oszacowane wartości APS są usuwane z interferogramów.

Identyfikacja kolejnych punktów PS odbywa się poprzez analizę fazy sygnału dla kolejnych pikseli. Dla każdego piksela wyznaczany jest błąd wynikający z niedokładności numerycznego modelu terenu oraz szybkość przemieszczeń. Punkty PS to te punkty zobrazowania radarowego, które charakteryzują się wysokimi wartościami koherencji (zazwyczaj większymi niż 0.75) dla wszystkich interferogramów (Ferretti et al., 2001).

3. MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA TECHNIKI PSINSAR

Interferometria stabilnych rozpraszaczy dostarcza bardzo precyzyjne wielkości pionowych przemieszczeń terenu. Dokładność metody zależy od kilku czynników m.in. ilości wykorzystanych obrazów radarowych, ale także od interwału czasu, jaki dzieli poszczególne zobrazowania, odległości bazowej, dokładności DEM, czy też efektywności eliminacji zakłócenia atmosferycznego. Generalnie technika PSInSAR pozwala śledzić przemieszczenia terenu o przyrostach rzędu nawet $0.1 \div 1$ mm/rok. Dokładność pomiaru przemieszczeń pojedynczego punktu PS wynosi $1 \div 3$ mm.

Gęstość punktów PS zależy przede wszystkim od charakteru analizowanego obszaru (czy jest to teren zabudowany, czy też są to obszary rolnicze). Warto podkreślić, że gęstość ta może być bardzo duża, dla obszarów zurbanizowanych nawet kilkaset punktów PS na km^2 . Jednak na ilość wyznaczonych stabilnych rozpraszaczy ma również wpływ interwału czasu, jaki dzieli wykorzystane obrazy SAR. Badania wskazują wyraźnie, że użycie zobrazowań pozyskanych w niewielkich odstępach czasu pozwala znacznie zagęścić sieć stabilnych rozpraszaczy, a także rozpoznać punkty PS na obszarach rolniczych (Ferretti et al., 2003).

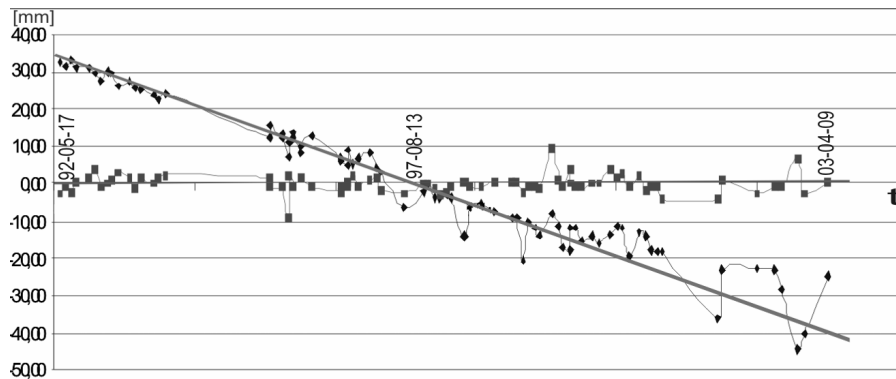
Technika PSInSAR posiada jednak pewne ograniczenia. Do najpoważniejszych z nich zaliczana jest w dalszym ciągu mała użyteczność metody w badaniu przemieszczeń na terenach niezabudowanych. Na obszarach tych liczba stabilnych rozpraszaczy jest stosunkowo niewielka. Ponieważ technika PSInSAR nie dostarcza informacji o deformacjach każdego punktu terenu konieczna jest interpolacja ich wartości dla obszarów pozbawionych punktów PS. Pionowe przemieszczenia terenu są zazwyczaj skorelowane przestrzennie, dlatego też do ich interpolacji wykorzystać można geostatystyczną metodę: kriging (Kim et al., 2006). Kolejnym ograniczeniem są same wartości wielkości deformacji, które nie mogą przekraczać kilku cm/rok (ograniczenie to wynika z długości fal wykorzystywanych w systemach SAR).

4. UDOSKONALENIA TECHNIKI PSINSAR

Pomimo, iż technika PSInSAR powstała już ponad osiem lat temu, naukowcy w dalszym ciągu pracują nad jej udoskonaleniem. Wynikiem takich prac jest m.in. metoda APSA (ang. *Advanced Permanent Scatterers Analysis*) oraz możliwość identyfikacji punktów SPS (ang. *Semi PS*) oraz punktów TPS (ang. *Temporary PS*).

4.1.1. APSA (ang. *Advanced Permanent Scatterers Analysis*)

Standardowa analiza SPSA (ang. *Standard Permanent Scatterers Analysis*) wykorzystywana jest do badania przemieszczeń terenu w skali regionalnej. Umożliwia ona identyfikację obszarów stabilnych i tych, na których występują niewielkie deformacje. W metodzie SPSA zakłada się liniowy model przemieszczeń, co oznacza identyfikację tylko tych punktów PS, których przyrost deformacji ma charakter liniowy. (Rys. 2). Takie przemieszczenia związane są najczęściej z procesem subsydencji, osuwiskami, czy strefami uskoków.



Rys. 2 Wartości przemieszczeń dwóch punktów PS (analiza SPSA)

Algorytm APSA pozwala natomiast na detekcję również tych przemieszczeń, które mają charakter nieliniowy. Metoda APSA jest skomplikowana i dużo bardziej

czasochłonna niż SPSA. W algorytmie APSA konieczne jest przejście z deterministycznego modelu przemieszczeń punktów PS do modelu stochastycznego (Ferretti et al., 2000). Metoda ta wymaga ponadto wykorzystania informacji o badanym obszarze takich jak budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne itp.. Połączenie danych radarowych z danymi z otworów wiertniczych, czy badań geofizycznych pozwala na uzyskanie znacznie większej ilości informacji niż w przypadku SPSA. APSA przeznaczona jest do badania przemieszczeń terenu występujących na mniejszych obszarach i umożliwia znaczne zagęszczenie siatki punktów PS.

4.1.2. Punkty SPS I TPS

Jak zaznaczono wcześniej, technika PSInSAR dostarcza informacji o przemieszczeniach tylko tych obiektów terenu, które na wszystkich przetwarzanych obrazowaniach satelitarnych odznaczają się stabilną amplitudą i fazą sygnału. Takie rozwiązanie powoduje, że w procesie przetwarzania obrazów typu SAR odrzucane są punkty, które zachowują się jak stabilne rozpraszacze tylko na ograniczonej liczbie tych obrazów. Są to tzw. punkty SPS (ang. *Semi Permanent Scatterers*) oraz TPS (ang. *Temporary Permanent Scatterers*) (Ferretti et al., 2003). Identyfikacja punktów SPS i TPS opiera się na analizie wartości amplitudy sygnału. Nagłe zmiany w wartościach fazy sygnału odpowiadają zmianom wartości amplitudy (Ferretti et al., 2003). Ponadto w przypadku wzrostu wartości amplitudy rośnie również prawdopodobieństwo, że obiekt będzie stabilnym rozpraszaczem (Ferretti et al., 2003). Pierwsze badania przeprowadzone dla obszarów zurbanizowanych, z wykorzystaniem danych radarowych ESA pokazują, że liczba zidentyfikowanych punktów SPS jest 10 razy wyższa niż liczba punktów TPS i stanowi 10% liczby wszystkich punktów PS (Ferretti et al., 2003). W przypadku, gdy nie dysponujemy gęstą siatką punktów PS, wtedy dołączenie do zbioru danych punktów SPS, a także punktów TPS, może mieć duże znaczenie w rozpoznaniu mechanizmu analizowanych przemieszczeń.

5. PODSUMOWANIE

Opracowanie techniki PSInSAR to bez wątpienia ogromny krok dla rozwoju satelitarnej interferometrii radarowej. Detekcja deformacji terenu o przyrostach rzędu nawet 1 mm/rok, możliwość analizy wartości przemieszczeń, występujących na dużych obszarach, w całym okresie pozyskiwania danych radarowych to tylko podstawowe zalety tej metody. Liczne badania, przeprowadzone zarówno przez polskich jak i zagranicznych naukowców, wskazują na wysoką użyteczność techniki m.in. w badaniu osuwisk (Farina P. et al., 2003), w analizie osiadania terenów górniczych (Chul et al., 2005; Kemeling et al., 2004; Leśniak et al., 2007), czy też w monitoringu subsydencji obszarów odwadnianych (Declercq P.Y. et al., 2005; Worawattanamateekul et al., 2003). Metoda PSInSAR pozwala badać nie tylko powolne przemieszczenia terenu występujące na dużych obszarach, ale również umożliwia ocenę stabilności pojedynczych budynków. Eliminując podstawowe ograniczenia klasycznej interferometrii radarowej technika PSInSAR stała się bardzo ważnym źródłem danych nie tylko do rozpoznania przemieszczeń terenu, ale również do badania ich mechanizmu oraz genezy. Obecnie prowadzone są prace nad wykorzystaniem systemów geoinformacyjnych w analizie powolnych deformacji terenu. Integracja danych

PSInSAR z danymi innego rodzaju (np. mapy topograficzne, numeryczne modele terenu, numeryczne modele wysokości budynków itp.) może pomóc w rozdzieleniu punktów PS reprezentujących odmienny charakter deformacji (Gehlot et al., 2005).

W Polsce metoda PSInSAR nie była, i nie jest wykorzystywana do monitoring deformacji terenu. Prowadzone są jednak badania nad jej zastosowaniem, szczególnie na terenach podziemnej eksploatacji górniczej. Badania wykazały, że pomimo iż technika ta nie pozwala na rejestrację znacznych osiadań terenu (a z takimi mamy do czynienia na obszarach górniczych i pogórniczych) to można z jej pomocą monitorować długookresowe, niewielkie deformacje, które mogą występować nawet kilkanaście lat po zakończeniu eksploatacji kopaliny (Leśniak et al., 2007). Metoda stabilnych rozpraszaczy może być również bardzo istotna w badaniach nad ruchami neotektonicznymi.

Pomimo iż technika PSInSAR nie może być wykorzystywana jako jedyne narzędzie monitoring deformacji terenu to w znaczący sposób uzupełnia ona naziemne pomiary geodezyjne, GPS oraz badania z wykorzystaniem klasycznej metody InSAR. Wprowadzenie PSInSAR na stałe jako techniki pomiarowej, w badaniu niewielkich, permanentnych przemieszczeń terenu może mieć kluczowe znaczenie w zwiększeniu bezpieczeństwa obszarów, na których takie ruchy występują.

6. LITERATURA

Briole P., Massonnet D., Delacourt C. 1997. Post-eruptive deformation associated with the 1986-87 and 1989 flows of Etna, detected by radar interferometry. *Geophys. Res. Lett*, 24, s.37-40.

Chul J.H., Min K-D. 2005. Observing coal mining subsidence from JERS-1 permanent scatterer analysis. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International*, vol. 7, s. 4578- 4581

Declercq P.Y., Devleeschouwer X., Pouriel F. 2005. Subsidence revealed by PSInSAR technique in the Ottignies-Wavre area (Belgium) related to water pumping in urban area. *Proc. Of FRINGE 2005 Workshop*, Frascati (Italy), 28 November - 2 December

Farina P. et al., 2003. Integration of permanent scatterers analysis and high resolution optical images within landslide risk analysis. *Proc. Of FRINGE 2003 Workshop*, Frascati (Italy) 1-5 December

Ferretti A., Prati C., Rocca F. 2000. Nonlinear subsidence rate using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38, s. 2202-2212.

Ferretti A., Prati C., Rocca F. 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39, s. 8-20.

Ferretti et al., 2003. Evaluating the effect of the observation time on the distribution of SAR permanent scatterers. . *Proc. Of FRINGE 2003 Workshop*, Frascati (Italy) 1-5 December

Gehlot S., Verbree E., Hanssen R.F. 2005. Dissemination of PS-InSAR results for improved interpretation and analysis. *Proceedings of ESA FRINGE-05 Workshop on advances in SAR Interferometry from ENVISAT and ERS missions*, Frascati, Italie s. 1-6

Gupta R.P. 2003. Remote Sensing Geology. *Springer-Verlag Berlin Heidenberg*

Kampes B.M. 2006. Radar Interferometry. Persistent Scatterer Technique. *Springer*

Kemeling I. et al., 2004. Monitoring mining subsidence in rural areas with a temperate climate using radar interferometry. *Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium*, Salzburg (Austria), 6-10 September

- Kim J., Park S., Moon W.M. 2006. Surface Displacement Monitoring on Reclaimed Land Using PSInSAR Technique. *Geoscience and Remote Sensing Symposium 2006 IGRASS, IEEE International Conference*, s. 1890-1893
- Lauknes T.R., Larsen Y., Hogda K.A. 2007. Persistent Scatterer Interferometric SAR. *Northern Research Institute Raport*
- Leśniak A., Porzycka S., Graniczny M., 2007. Subsidence analysis in mining area of Dabrowskie Coal Basin using PSInSAR technique. *Near Surface 2007*, Istanbul (Turkey), 3-5 September 2007
- Massonnet D. Et al., 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364, s. 138-142.
- Perski Z., 1999. Osiedlenia terenu GZW pod wpływem eksploatacji podziemnej określane za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR). *Przegląd Geologiczny*, 2, s.171-174
- Perski Z., Ketelaar G., Mróz M. 2006. Interpretacja danych ENVISAT/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki satbilnych rozpraszaczy (persistent scatterers). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 16, s. 467-482.
- Smith L.C. 2002. Emerging applications of interferometric synthetic aperture radar (InSAR) In geomorphology and hydrology. *Annals of the Association of American Geographers*, 92, s.385-398.
- Sowter A. 2003. The derivation of phase integer ambiguity from single InSAR pairs: implications for differential interferometry. *Proceedings of the 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece*, s. 149-156
- Worawattanamateekul J., Hoffman J., Adam N., Kampes B.M. 2003. Urban deformation monitoring in Bangkok metropolitan (Thailand) using Permanent Scatterer and Differetial Interferometry technique. *Proc. Of FRINGE 2003 Workshop*, Frascati, Italy, 1-5 Dec. 2003
- Warren M.A. 2007. The Development of a Persistent Scatterer Algorithm using the Integer Ambiguity search Nethod. *Submitted PhD Thesis, University of Nottingham, UK*.

RADAR IMAGE PROCESSING USING PERMANENT SCATTERERS TECHNIQUE

KEY WORDS: radar interferometry, PSInSAR, ground displacements, SPS, TPS, APSA

SUMMARY: In this paper the PSInSAR technique has been described. PSInSAR is a new method for radar image processing. It exploits large sets of radar images in order to detect small ground displacements of PS points. PS points are time-coherent radar targets. They correspond to structures such as buildings, bridges, viaducts, outcrops etc. PSInSAR overcomes some limitations of repeat pass InSAR. In this article, the main stages of the SPSA have been presented along with the general principles of APSA. This paper also covers similar information about the SPS and TPS points acting as coherent points only on limited number of radar images. The advantages and disadvantages of the PSInSAR technique have been specified and described.

dr hab. inż. Andrzej Leśniak, prof. AGH
lesniak@agh.edu.pl
012 6172368

mgr inż. Stanisława Porzycka
porzycka@agh.edu.pl
012 6173437