



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2015 00309**

(22) Data de depozit: **04/05/2015**

(41) Data publicării cererii:
26/02/2016 BOPI nr. **2/2016**

(71) Solicitant:

• TERRASIGNA S.R.L., STR. ZIZIN NR. 1,
BL. F10C, SC. 4, AP. 104, SECTOR 3,
BUCHARESTI, B, RO

(72) Inventatori:

• MOLDOVAN ADRIAN-SEPTIMIU,
STR. SELIMBAR NR. 32A, MÂGURELE, IF,
RO;
• SERBAN FLORIN, STR. FOIȘORULUI
NR. 17, BL. F10C, SC. 2, AP. 52,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
• PONCOS VALENTIN IOAN,
STR. PERCHIULUI NR. 8, ONEȘTI, BC, RO;

• TOMA ȘTEFAN ADRIAN, STR. SECUILOR
NR. 13, BL. 19, SC. 3, ET. 1, AP. 82,
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;
• TELEAGA DELIA COSMINA,
STR. DRAGOȘ VODĂ NR. 47, ET. 2, AP. 3,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;
• ANGHEL ANDREI, BD. PRIMĂVERII
NR. 26, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
• CACOVEANU REMUS, STR. SIBIU NR. 5,
BL. E3, SC. 1, ET. 9, AP. 60, SECTOR 6,
BUCHARESTI, B, RO;
• STAN ANDREI,
BD. MIHAEL KOGĂLNICEANU NR. 45,
BUCHARESTI, B, RO

(54) RADAR MONOSTATIC INTERFEROMETRIC DIGITAL CU COMPRESIE A IMPULSULUI ȘI APERTURĂ SINTETICĂ In-SAR, CU APPLICABILITATE ÎN MONITORIZAREA DEPLASĂRILOR SUB-MILIMETRICE ALE STRUCTURILOR MASIVE ȘI ALUNECĂRILOR DE TEREN

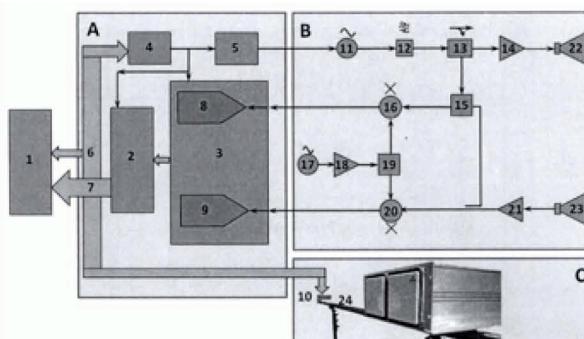
(57) Rezumat:

Invenția se referă la un radar monostatic interferometric digital, cu compresie a impulsului și apertură sintetică, cu aplicabilitate în monitorizarea de la distanță a deplasărilor structurilor masive și alunecările de teren. Radarul conform inventiei este alcătuit dintr-o unitate (A) digitală, controlată de un computer (1) ce monitorizează funcționarea unui radar prin intermediul unei interfețe (6) USB și a unei interfețe (7) Ethernet, interfață (6) USB fiind conectată la o altă interfață (4), prin care sunt generate semnale de declanșare pentru un generator (5) de tensiune liniar variabilă și, respectiv, prin care este controlată o unitate (C) de deplasare mecanică a radarului, iar interfață (7) Ethernet fiind conectată la un sistem (2) de achiziție, la care este conectat un convertor (3) analog-digital de mare viteză, care digitizează pe două canale (8 și 9) semnale analogice primite de la unitatea (B) analogică alcătuitură, pe calea de emisie, din următoarele componente: un oscillator (11) controlat în tensiune, un filtru (12) trece-bandă, un cuplaj (13) direcțional, un amplificator (14), o antenă (22) de emisie, un splitter (15) și un mixer (16), iar pe calea de recepție, dintr-o antenă (23) de recepție, un amplificator (21) de recepție și un mixer (20), cele două căi având comun un oscillator (17) local, un amplificator (18) de separare și un splitter (19). Astfel se obțin imagini radar focalizate, prezentate sub forma unor hărți distanță-azimut codificate color, unde culoarea este o funcție dependentă de secțiunea radar transversală a țintelor din teren. În urma

scanărilor succesive ale aceleiași scene, analiza evoluției fazei semnalelor de la o scanare la alta permite obținerea interferogramelor radar care pun în evidență modificările distanței relative dintre radar și elementele componente ale scenei, pe termen scurt, mediu sau lung.

Revendicări: 1

Figuri: 1



Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	24
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a... 2015.00.309	
Data depozit ... 04.05.2015...	

DESCRIEREA INVENȚIEI

RADAR MONOSTATIC INTERFEROMETRIC DIGITAL CU COMPRESIE A IMPULSULUI ȘI APERTURĂ SINTETICĂ In-SAR, CU APLICABILITATE ÎN MONITORIZAREA DEPLASĂRILOR SUB-MILIMETRICE ALE STRUCTURILOR MASIVE ȘI ALUNECĂRILOR DE TEREN

Invenția se referă la un radar monostatic interferometric cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), cu prelucrare digitală avansată a semnalelor, cu aplicabilitate în monitorizarea de la distanță a deplasărilor structurilor masive (clădiri, poduri, baraje) și a deplasărilor terenului (alunecări de teren) produse ca efect al dilatărilor, acțiunii vântului, eroziunii solului, precum și al altor cauze.

Radarul este construit într-o structură compactă care conține un *front-end* radar adaptabil aplicatiei, reprezentat de unitatea de emisie și unitatea de recepție, construite într-o topologie heterodină, convertoare analog-digitale de mare viteză și o unitate de stocare temporară a semnalelor digitizate, acest bloc fiind montat pe o axă de deplasare liniară.

Funcționarea radarului și deplasarea acestuia de-a lungul axei liniare, în azimut, sunt coordonate de un computer dedicat achiziției și procesării semnalelor și respectiv controlului unității de deplasare a radarului, astfel încât pentru fiecare nouă poziție a radarului pe axa de deplasare se obține un profil radar al scenei scanate.

Profilele radar obținute de-a lungul deplasării azimutale ale blocului radar sunt stocate pe hard-disk-ul computerului iar la sfârșitul unei scanări sunt procesate prin tehnici software specifice pentru a obține imaginea radar cu apertură sintetică a scenei scanate, în cadrul acestui proces fiind folosit un algoritm de focalizare a imaginii. Algoritmul de procesare a datelor în urma aplicării căruia rezultă o imagine radar focalizată este cunoscut sub numele de "procesor SAR".

Imaginiile SAR obținute sunt prezentate sub forma unei hărți 3D codificată color, care prezintă pozițiile țintelor în distanță și azimut și în care culoarea reprezintă energia reflectată de respectivele ținte.

Sunt cunoscute și există referințe despre radare In-SAR care sunt destinate monitorizării structurilor masive și alunecărilor de teren. Acestea au o construcție similară, principal, caracteristică sistemelor radar cu apertură sintetică. Aceste sisteme pot monitoriza deplasări sub-milimetrice ale țintelor vizate și oferă ca rezultat final hărți ale suprafeței urmărite, codificate color, în care culoarea reprezinta deformările, respectiv deplasările înregistrate pe perioada monitorizării. Astfel de sisteme pot urmări scene aflate la distanțe de ordinul kilometrilor și operează, uzual, în benzile Ku și X.

Dezavantajul principal al acestor sisteme este reprezentat de prețul ridicat al acestora, iar acest aspect se reflectă și asupra prețului la care deținătorii lor pot oferi serviciile de monitorizare către autoritățile competente sau către terți. Un alt

dezavantaj al sistemelor cunoscute este acela că rezultatul măsurătorilor este influențat de neliniaritățile care se manifestă în lanțul de emisie, astfel încât faza semnalelor recepționate este afectată de erorile pe care le generează aceste neliniarități.

Problemele tehnice și economice pe care le rezolvă invenția sunt legate de gradul de compactizare a sistemului propus, de reducerea influenței pe care o au neliniaritățile sistemului (cu efect pozitiv în creșterea preciziei măsurătorilor) și totodată de modul inovativ și flexibil în care este alcătuit sistemul, care permite conectarea unui *front-end* radar adaptabil aplicatiei, astfel încât se obțin performanțe similare sistemelor cunoscute, însă cu costuri substanțial scăzute.

În acest fel, prin utilizarea unui sistem de digitizare performant, utilizat atât pentru digitizarea semnalului recepționat cât și a celui emis, cât și prin prelucrarea digitală a semnalelor, se elimină necesitatea de a utiliza componente extrem de performante și implicit costisitoare în unitatea analogică. În mod uzual, atenția este dirijată asupra selectării unor componente de radiofrecvență de înaltă performanță în ceea ce privește stabilitatea frecvenței și a fazei. În cazul prezentei invenții, abordarea se focalizează pe digitizarea și memorarea fluctuațiilor și neliniarităților acestor componente, aşa cum apar în semnalul emis, și nu pe diminuarea acestora. Prelucrarea digitală a acestor informații, folosind tehnici software de procesare avansată a semnalelor permite compensarea parțială a acestor neliniarități și alegerea unor componente aflate într-o categorie de prețuri scăzute, având ca rezultat obținerea unor performanțe tehnice similare cu aceleia ale sistemelor produse pe plan internațional, însă la un cost de producție diminuat.

Radarul propus utilizează o schemă de digitizare și memorare a semnalului emis (replică), pe care o utilizează apoi, ca informație obținută în timp real, pentru a realiza deconvoluția semnalului recepționat. În acest fel, derivele termice și neliniaritățile de frecvență ale *chirp*-ului generat sunt compensate într-o mare masură. Calitatea informației obținute, din acest punct de vedere, depinde doar de stabilitatea de fază a oscilatorului controlat în tensiune și a oscilatorului local.

Aceasta metodă de măsură îmbunătățește semnificativ precizia măsurătorilor și, prin utilizarea unor componente pentru microunde accesibile ca preț, menține performanțele sistemului la nivelul performanțelor obținute cu sisteme produse pe plan internațional.

Radarul monostatic interferometric digital cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- Reprezintă o soluție tehnică cu grade de tehnicitate și compactizare ridicate;
- Prezintă avantajul procesării avansate a semnalului, încrucișat sunt digitizate ambele canale de radiofrecvență (emisia și receptia), iar rezultatul digitizării este memorat și disponibil prelucrării semnalului;
- Are o topologie heterodină care îi confră stabilitate, selectivitate și sensibilitate ridicate;

- Permite conectarea unor *front-end*-uri radar adaptate specificului aplicației prin modificarea benzii de operare, cu păstrarea integrală a platformelor software, digitală și mecanică;
- Utilizează componente electronice pentru microunde care scad costul de producție în mod semnificativ;
- Utilizează antene de tip *patch-array*, realizate în tehnologie microstrip, care îi conferă o compactitate crescută;
- Are procesor SAR încorporat care permite prelucrarea semnalelor și aplicarea algoritmilor de compresie în distanță și azimut pentru obținerea *in-situ* a imaginilor SAR focalizate;
- Folosește o soluție de prelucrare digitală a semnalelor, ceea ce îi conferă o mare versatilitate;
- Platformele hardware utilizate sunt gestionate printr-un software dezvoltat sub limbajul de programare grafică LabVIEW, asigurându-se astfel capacitatea de utilizare a radarului inclusiv în scopuri didactice;
- Oferă, la un preț scăzut, performanțe similare sistemelor consacrate;

Se descrie în continuare un exemplu de realizare a invenției, **Figura 1**, care reprezintă schema bloc a radarului monostatic interferometric digital, cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR, cu aplicabilitate în monitorizarea deplasărilor sub-milimetrice ale structurilor masive și a alunecărilor de teren.

Radarul monostatic interferometric digital cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR, conform invenției, este alcătuit dintr-o unitate digitală (A), controlată de un computer (1) care controlează funcționarea radarului prin intermediul unei interfețe USB (6) și a unei interfețe Ethernet (7), interfața USB (6) fiind conectată la o interfață (4) prin care sunt generate semnale de triggerare pentru generatorul de tensiune liniar variabilă (5) și respectiv prin care este controlată unitatea de deplasare mecanică (C), care cuprinde *controller*-ul de deplasare (10) prin care se asigură mișcarea radarului pe axa de deplasare liniară (24), iar interfața Ethernet (7) fiind conectată la sistemul de achiziție (2) la care este conectat convertorul analog-digital de mare viteză (3) care digitizează pe canalul (8) și canalul (9) semnalele analogice primite de la unitatea analogică (B), care este compusă, pe calea de emisie, din oscilatorul controlat în tensiune (11), un filtru trece-bandă (12), un cuplu directional (13), un amplificator (14), antena de emisie (22), un splitter (15) și un mixer (16), respectiv, pe calea de recepție, din antena de recepție (23), amplificatorul de recepție (21) și mixerul (20), cele două căi având comun un oscilator local (17), un amplificator de separare (18) și un splitter (19).

Funcționarea radarului monostatic interferometric digital cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR este controlată de către PC-ul (1), laptop, conectat la unitatea digitală (A) care cuprinde sistemul de achiziție (2) și interfața (4) și respectiv la unitatea (B), care cuprinde *controller*-ul de deplasare (10). PC-ul (1) transmite prin interfața USB (6) un mesaj care determină generarea semnalelor de triggerare de către interfața (4). Aceste semnale de triggerare sunt aplicate simultan generatorului de tensiune liniar variabilă (5) și sistemului de achiziție (2), determinând

resetarea rampei de tensiune care este aplicată oscilatorului controlat în tensiune (11), formându-se astfel un semnal de frecvență variabilă în timp, numit *chirp*. Semnalul este filtrat prin filtrul trece-bandă (12) pentru a se atenua produsele armonice superioare și inferioare, apoi este aplicat cuplorului direcțional (13), care are rolul de a preleva o parte redusă din acest semnal și de a o transmite către splitter-ul (15), pe de o parte, în timp ce, pe de altă parte, transmite semnalul către amplificatorul (14) care are cuplată la ieșirea sa o antenă de emisie (22) care transmite acest semnal către scena vizată. Fracțiunea de semnal prelevată și aplicată *splitter*-ului (15) este iar divizată egal între două ieșiri ale acestuia, una dintre ele fiind conectată la mixerul canalului de emisie (16), iar cealaltă la calea de recepție spre ieșirea amplificatorului de recepție (21). Mixerul (16) primește pe o intrare copia (fragmentul) semnalului emis, iar pe cealaltă intrare primește un semnal de frecvență constantă, care provine de la oscilatorul local (17) și care este amplificat de către amplificatorul de separare (18), apoi divizat în două părți, de putere egală, de către splitter-ul (19). La nivelul mixerului (16) are loc schimbarea de frecvență, astfel încât *chirp*-ul este transpus în banda de bază 0-600MHz prin mixarea sa cu semnalul oscilatorului local.

Semnalul de emisie transpus în banda de bază este aplicat canalului (8) al convertorului analog-digital de mare viteză (3), care funcționează sincron cu canalul (9).

Semnalul emis prin antena de emisie (22) este reflectat de către țintele aflate în scena scanată și este recepționat de către antena de recepție (23), apoi amplificat de către amplificatorul de recepție (21). Din punct de vedere temporal, primul semnal recepționat este acela injectat din canalul de emisie prin ieșirea *splitter*-ului (15) direct pe calea de recepție, la ieșirea amplificatorului de recepție (21), constituindu-se astfel în semnal de referință, adică distanță zero. Semnalele recepționate sunt aplicate mixerului de recepție (20), împreună cu semnalul oscilatorului local, provenit din *splitter*-ul (19), astfel încât, la ieșirea mixerului (20) semnalele recepționate sunt transpuse în banda de bază 0-600MHz, fiind aplicate canalului (9) al convertorului analog digital (3).

Astfel, prin cele două canale ale sale, (8) și (9), convertorul analog-digital (3) convertește atât o copie a semnalului emis, cât și semnalele recepționate, rezultatul acestor conversii fiind transmis către sistemul de achiziție (2), la nivelul căruia are loc o stocare temporară a datelor, care sunt apoi transmise prin interfața Ethernet (7) către PC-ul (1), unde sunt prelucrate de către aplicația LabVIEW și apoi sunt scrise pe hard-disk.

În continuare, PC-ul (1) initiază pe interfața USB (6) o comunicație cu *controller*-ul de deplasare (10) care comandă mișcarea radarului pe axa de deplasare liniară (24) până într-o nouă poziție de măsură. Când radarul a ajuns în noua poziție de măsură, aplicația software reia algoritmul prezentat mai sus, generând alt impuls de triggerare, prelevând un nou set de date, prelucrandu-le și scriindu-le pe hard-disk.

După parcurgerea întregii aperturi a axei de deplasare liniară, aplicația deschide fișierele scrise în timpul scanării folosind un algoritm de compresie a impulsurilor pentru obținerea, în primă fază, a imaginii comprimate în distanță (*range compression*) și apoi pentru a efectua comprimarea în azimut pentru obținerea unei imagini SAR

(Synthetic Aperture Radar) focalizate, în care țintele sunt identificate prin distanță, azimut și secțiune transversală radar, într-o imagine codificată color.

Obținerea interferogramelor are loc prin diferențierea informației de fază a semnalului recepționat, de la o scanare la alta a aceleiași scene, punându-se în evidență deviația fazei fiecărui pixel al imaginii între două scanări succesive. În acest fel se pun în evidență, pe termen scurt, mediu sau lung, deplasările relative ale țintelor din scena scanată, față de radarul In-SAR.

Bibliografie:

- <https://www.idscorporation.com/georadar/our-solutions-products/mining/products/item/13-ibis-fm-interferometric-mine-slope-radar>
- http://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptA.pdf
- <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/80603/44421532-MIT.pdf?sequence=2>
- Daniels, David - Ground Penetrating Radar 2nd Edition (Radar, sonar, navigation & avionics), Institution of Engineering and Technology, London, 2007
- <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=theses>
- http://www.academia.edu/3044173/Processing_SAR_data_using_Range_Doppler_and_Chirp_Scaling_Algorithms
- https://www.researchgate.net/publication/238076452_A_Study_of_Fast_Backprojection_Algorithm_for_UWB_SAR_and_a_Comparison_between_Fast_and_Global_Backprojection
- <https://dlmacph-radar.googlecode.com/hg/SPIE10toolbox.pdf>

REVENDICARE

Radar monostatic interferometric digital cu compresie a impulsului și apertură sintetică In-SAR cu aplicabilitate în monitorizarea de la distanță a deplasărilor sub-milimetrice ale structurilor masive și alunecărilor de teren, alcătuit dintr-un computer PC (1) care controlează funcționarea și deplasarea unui bloc radar format dintr-o unitate digitală (A), o unitate analogică (B), care se constituie într-un front-end radar dețăabil și adaptat specificului aplicației prin modificarea benzii de operare a radarului, și o unitate de deplasare mecanică a radarului (C), determinând declanșarea impulsurilor radar, achiziționând sincron, pe două canale de conversie analog-digitală de mare viteză (8) și (9) atât semnalul retroîmpăraștiat de către obiectele din scena scanată cât și o copie a semnalului transmis, în aşa fel încât, prin mijloace de procesare software a semnalelor, se diminuează efectele neliniarității de frecvență a impulsului radar, care efectuează automat scanarea profilelor radar de-a lungul axei de deplasare azimutală, care utilizează limbajul de programare grafică LabVIEW pentru a efectua procesarea semnalelor în scopul realizării compresiei impulsului radar și pentru a implementa un procesor SAR integrat care generează imaginea SAR focalizată a scenei scanate, prezentând-o sub forma unei hărți distanță-azimut, codificată color, unde culoarea este o funcție dependentă de secțiunea transversală radar a fiecărei ținte și care, prin scanări succesive ale unei aceleiași scene și analiza diferențelor de fază ale semnalelor de la o scanare la alta, reprezintă grafic interferograme radar care pun în evidență modificări sub-milimetrice ale distanței relative dintre radar și țintele din cadrul scenei scanate, întregul radar fiind asamblat într-o construcție compactă și transportabilă în teren, destinată urmăririi pe termen scurt, mediu și lung a deformărilor și deplasărilor structurilor mari, naturale sau construite, cum ar fi versanti, terenuri alunecatoare, clădiri înalte, baraje, poduri.

DESEN EXPLICATIV

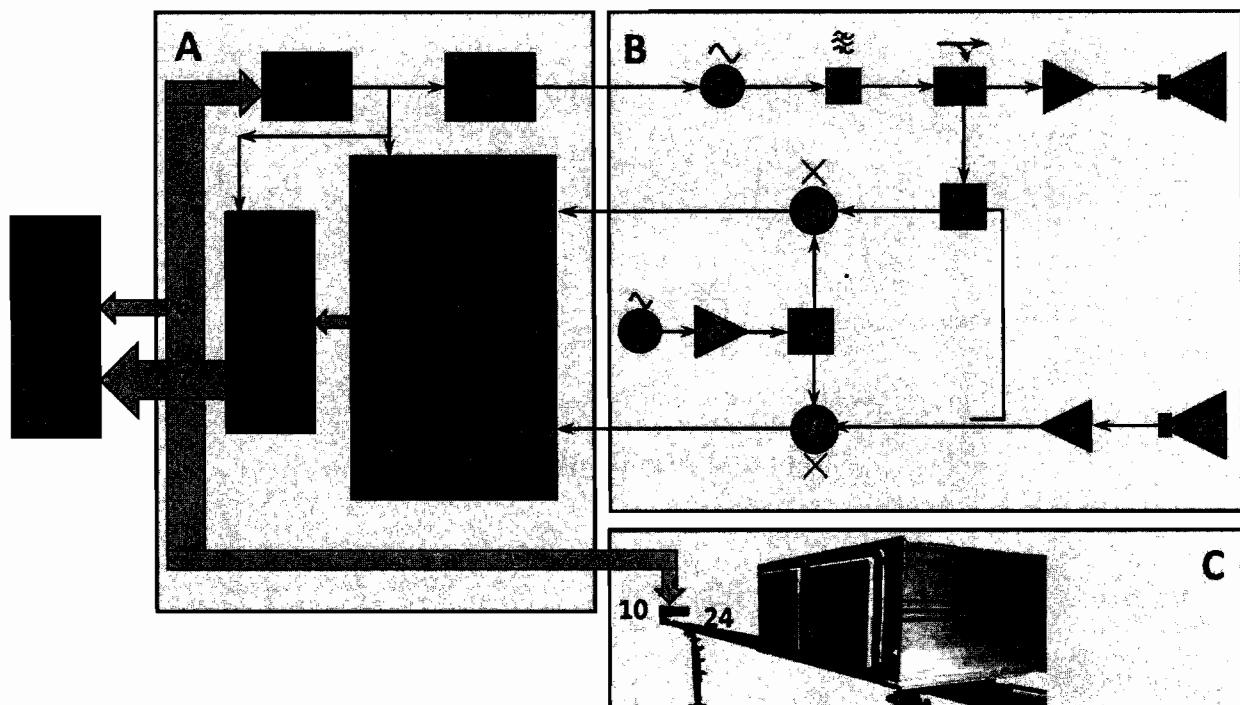


FIGURA 1

SCHEMA BLOC A RADARULUI MONOSTATIC INTERFEROMETRIC DIGITAL CU
COMPRESIE A IMPULSULUI SI APERTURA SINTETICA In-SAR .