



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00526

(22) Data de depozit: 30/08/2022

(41) Data publicării cererii:  
29/03/2024 BOPI nr. 3/2024

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE  
DEZVOLTARE PENTRU FIZICA  
PĂMÂNTULUI, STR. CĂLUGĂRENI NR. 12,  
MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:  
• MARMUREANU ALEXANDRU,  
BD. TIMIȘOARA NR. 51, BL. F7, SC. 3,  
AP. 50, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• IONESCU CONSTANTIN, STR.  
FIZICIENILOR NR. 8, BL. 5, SC. A, ET. 2,  
AP. 9, MĂGURELE, IF, RO;  
• TOADER VICTORIAN EMILIAN,  
STR. DRUMEAGULUI, NR. 42-44,  
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

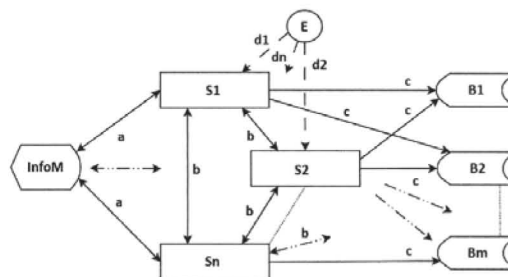
(54) METODĂ DE AVERTIZARE SEISMICĂ CU DECIZIE  
DESCENTRALIZATĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de avertizare seismică bazată pe descentralizarea deciziei, realizată prin schimb de informații referitoare la localizarea unui cutremur între stații seismice cuplate într-o rețea privată sau prin Internet și transmiterea localizărilor realizate de fiecare stație către beneficiari, pe parcursul evenimentului seismic, independent de un centru de monitorizare. Metoda conform invenției constă în aceea că stațiile ( $S_1, \dots, S_n$ ) aflate într-o rețea de monitorizare schimbă informații între ele referitoare la detecția unui cutremur, cum ar fi: poziția, adâncimea, magnitudinea și timpul producerii cutremurului, decid independent asupra stării de avertizare și transmit aceste date beneficiarilor ( $B_1, \dots, B_m$ ), în timp real. Fiecare stație ( $S_1, \dots, S_n$ ) de avertizare citește datele referitoare la beneficiari ( $B_1, \dots, B_m$ ) și adresele celorlalte stații, periodic, de la o stație de Informare și Management (InfoM) care nu este implicată în procesul decizional. În timpul unui cutremur se realizează mai multe localizări pe măsură ce fiecare stație detectează cutremurul și transmite, respectiv primește, informații de la celelalte stații vecine, astfel că, în final, toate stațiile ( $S_1, \dots, S_n$ ) de avertizare au aceleași informații. O localizare necesită minimum trei

stații, iar în momentul introducerii unei stații noi în rețeaua de avertizare, aceasta își inițiază lista de adrese din rețea și lista beneficiarilor prin interogarea stației InfoM.

Revendicări: 3  
Figuri: 3



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 invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



## METODA DE AVERTIZARE SEISMICA CU DECIZIE DESCENTRALIZATA

Invenția se refera la o metoda de avertizare seismica bazata pe descentralizarea deciziei realizata prin schimbul de informații referitoare la localizarea unui cutremur (poziția, adâncimea, magnitudinea si momentul producerii seismului) între stațiile seismice cuplate între într-o rețea EEWS (Earthquake Early Warning System) privata (de exemplu VPN) sau prin internet si transmiterea localizărilor realizate de către fiecare stație pe baza datelor primite de la celelalte stații spre beneficiari pe parcursul evenimentului seismic independent de un centru de monitorizare.

Sistemele de avertizare actuale se bazează pe o rețea de senzori seismici care detectează cutremurele (undele P - primara si S - secundara) si transmit informațiile către un centru de comanda care colectează aceste informații in timp real pe parcursul desfășurării evenimentului seismic si decid daca se depășesc pragurile de avertizare stabilite caz in care informează beneficiarii.

Nivel internațional: Datorită faptului că la nivel internațional există doar câteva EEWS operaționale, în principal folosind o abordare regională, care funcționează folosind un punct central de decizie, până acum nimeni nu a implementat un EEWS in care decizia este distribuita stațiilor de avertizare aflate într-o rețea. Fiecare stație de avertizare va deveni un nod de decizie în rețeaua EEWS. Implementarea metodei se face printr-un software care se executa in echipamentele aflate stațiile de avertizare care lucrează ca un sistem distribuit si care comunică, își coordonează acțiunile prin transmiterea de date și mesaje în timp real uneia alteia. În consecință, stațiile de avertizare vor interacționa între ele pentru a realiza detecția undelor P si S, transmiterea – recepția acestor date către celelalte stații, transmiterea localizărilor cutremurului (poziția, adâncimea, magnitudinea si momentul producerii) pe parcursul acestui proces si trimiterea lor beneficiarilor (obiective industriale, instituții implicate in managementul situațiilor de urgenta, spitale etc).

În ceea ce privește metodologiile utilizate în străinătate, unul dintre puținele sisteme de alarmă cu undă P „la fața locului” utilizat în Taiwan utilizează tehnologia Pd (deplasare la vârf) dezvoltată de Yih-Min Wu [1] de la Universitatea Națională din Taiwan. Acest dispozitiv, „Palert” produs de Sanlien – Taiwan, conține un accelerometru MEMS cu 3 componente și utilizează doar 3 secunde de date pentru detecția undei P si transmiterea unei alerte. De asemenea, avertizarea seismica se

realizează și cu întrerupătoare seismice comerciale, de ex. „ICP-DAS SAR-713”, un echipament de avertizare seismică cu tehnologie avansată care utilizează un accelerometru MEMS pe 3 axe [2]. Un alt exemplu este rețeaua „ShakeNet” bazată pe echipamente „Raspberry Shake” (<https://shakenet.raspberrypi.org/>). În acest caz configurația este flexibilă deoarece echipamentele au mai multe opțiuni: „1D” (un geofon vertical), „3D”, „4D” [3], „RS&Boom” (un geofon vertical și un senzor de infrasunete). Prețul relativ redus al unui „Raspberry Shake”, compatibilitatea cu aplicații de avertizare seismică („Earthworm”, „Presto”) și posibilitatea de configurare a unei rețele de senzori îl face să fie printre cele mai răspândite dispozitive de avertizare seismică [3]. Și în acest caz există un centru decizional în care se adună informațiile și se realizează localizarea cutremurului (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului).

Toate sistemele de mai sus folosesc o stație centrală unde trimit informațiile și unde se realizează localizarea cutremurului (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) care se transmite beneficiarilor. Nu există o legătură între echipamente prin care să-și comunice date direct, nu se poate realiza o localizare de către fiecare echipament care să fie trimisă beneficiarilor. Metoda propusă realizează localizarea unui cutremur (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) în fiecare stație de avertizare progresiv pe baza datelor de la celelalte stații și utilizează o schemă de vot pentru a valida magnitudinea cutremurului [4], [5].

Punctele forte ale unei astfel de arhitecturi includ: i) Fiabilitate, toleranță ridicată la erori: o blocare a unei stații de avertizare nu va bloca întreaga rețea de avertizare, ii) Scalabilitate: numărul de stații de avertizare poate fi ajustat în orice moment, manual sau dinamic pentru a asigura acoperirea unei zone seismice, iii) Flexibilitate: Deoarece în fiecare stație se află un echipament de sine stătător acesta poate fi inspectat, reparat, testat și actualizat individual, fără ca sistemul de avertizare să se blocheze sau să necesite oprirea lui, iv) Viteză rapidă de calcul: poate oferi îmbunătățiri majore ale vitezei de calcul în funcție de problema rezolvată, v) Deschidere: stațiile de avertizare pot fi găzduite într-un singur centru de date, într-o singură rețea sau pot fi distribuite pe internet și vii) Asincron: stațiile de avertizare își aplică aceeași metodă asincron, ceea ce oferă o creștere a performanței atunci când problema rezolvată poate fi împărțită în probleme mai mici.

Scopul principal al invenției este de a realiza un sistem de avertizare într-o structură sigură, flexibilă care să realizeze localizarea cutremurelor cu o precizie ridicată (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) utilizând stații seismice care conlucrează între ele pe parcursul detectării unei seismice și informării în timp real al beneficiarilor.

Caracteristicile și structura sistemului de avertizare bazat pe o metodă care asigură descentralizarea deciziei este prezentat într-un exemplu de realizare, preferat dar nu exclusiv, al acesteia, ilustrat printr-un exemplu nelimitativ în figurile atașate, în care:

Figura 1, schema bloc a rețelei de stații de avertizare bazată pe metoda descentralizată propusă;

Figura 2, schema bloc a unei rețelei de stații de avertizare clasice bazată pe decizie centralizată;

Figura 3, organigrama de funcționare a unei stații de avertizare în care s-a implementat metoda de decizie descentralizată.

Cu referință la Figura 1, rețeaua de avertizare descentralizată, în conformitate cu o formă de realizare preferată dar nu exclusivă a invenției, cuprinde stațiile seismice  $S_1 - S_n$ , care primesc în prima etapă informații (a) despre poziția și adresele lor de la o stație de informare și management (InfoM) și comunică între ele (b) în scopul localizării cutremurelor pe care le detectează independent și transmit (c) beneficiarilor  $B_1 - B_m$  rezultatele referitoare la localizare (poziția epicentrului E, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii) pe parcursul căruia unda seismică este detectată în funcție de distanțele  $d_1, d_2 \dots d_n$  dintre stații  $S_1-S_n$  și epicentrul E.

În Figura 2 este prezentată soluția clasică în care există un centru de management (M) care primește detecțiile cutremurelor (a) de la stațiile de avertizare  $S_1 - S_n$ , realizează localizarea (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) și transmite rezultatul (b) beneficiarilor  $B_1 - B_m$ . Orice blocare a centrului de decizie M (defecțiune tehnică, actualizare software etc) compromite sistemul de avertizare.

Cu referință la Figura 3, organigrama de funcționare a unei stații de avertizare în care s-a implementat metoda de decizie descentralizată, în conformitate cu o formă de realizare preferată dar nu exclusivă a invenției, stațiile de avertizare primesc periodic de la InfoM informațiile referitoare la celelalte stații (poziții latitudine/longitudine, adrese) care sunt necesare localizării cutremurelor în configurația

descrisa in Figura 1 (1). In etapa urmatoare (2) se asteapta un eveniment seismic. Daca nu avem o detectie locala se verifica daca exista una trimisa de alte statii sau daca in retea de avertizare au aparut modificari. Pentru descrierea metodei sa consideram ca s-a produs un eveniment seismic cu epicentrul E aflat la distanta  $d_1$  fata de statia de avertizare cea mai apropiata  $S_1$  (Figura 1). In acest caz se executa etapa (3) din organigrama din Figura 3. Momentul detectiei este transmis celorlalte statii  $S_2 - S_n$ . Statia  $S_1$  nu poate realiza localizarea deoarece sunt necesare cel puțin 3 detectii pentru acest lucru si revine la pasul (2) in care asteapta detectiile de la urmatoarele statii in ordinea distantelor  $d_2 - d_n$ . In momentul in care primește informatiile de la statiile  $S_2$  si  $S_3$  poate sa genereze prima localizare pe care o transmite beneficiarilor. Când unda seismică a fost detectata si de statia cea mai departata  $S_n$  toate statiile au aceleasi date si ca urmare trimit aceeasi localizare beneficiarilor. Aceasta are avantajul ca este cea mai precisa deoarece se bazează pe mai multe informatii dar primul mesaj transmis de  $S_1$  are avantajul ca este cel mai rapid.

Statia de informare si management (InfoM) poate fi o aplicatie web in care se definește retea de statii  $S_1 - S_n$ . Un exemplu este „Raspberry Shake” in care se definește „ShakeNet” si se integrează „My Shake” intr-un mod interactiv. Pe o harta se afisează pozitiile statiilor (latitudine, longitudine) si date referitoare la IP, modelul - versiunea de echipament utilizat (de exemplu „Raspberry”). De asemenea, aplicatia web poate permite vizualizarea datelor si localizarea cutremurelor (pozitia, adancimea, magnitudinea si momentul producerii seismului) pe o harta pe baza informatiilor furnizate de statiile aflate in retea (exemplu <https://shakenet.raspberrysshake.org/apps>).

Statiile de avertizare seismica au o structura hardware clasica asemanatoare cu „Palert”, „ICP-DAS SAR-713” sau „Raspberry Shake”, de exemplu (senzori de acceleratie, achizitie si prelucrare date, posibilitate de conectare intr-o retea). Metoda propusa implica un software care functioneaza conform cu organigrama din Figura 3. Spre deosebire de solutia clasica fiecare detectie este transmisa celorlalte statii pentru realizarea localizarii. Metoda clasica in care localizarea (pozitia, adancimea, magnitudinea si momentul producerii seismului) se realizează intr-o singura statie (M in Figura 2) este un caz particular al metodei descentralizate propuse. Daca InfoM transmite statiilor din retea de avertizare seismica doar o adresa, de exemplu  $S_1$  (Figura 1), ca locatie unde se transmit localizarile si mesajele către un beneficiar unic iar  $S_1$  are numai lista beneficiarilor externi atunci aceasta devine M din Figura 2. In

timp ce unda seismică este detectată fiecare stație  $S_2 - S_n$  transmite localizările către  $S_1$  care la rândul ei realizează detecția și localizarea (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) pe care o transmite beneficiarilor pe măsura ce primește date de la  $S_2 - S_n$ .

Beneficiarii invenției pot fi instituțiile care se ocupa de situațiile de urgență (IGSU, ISU-uri), organizații guvernamentale care gestionează situații de urgență, obiective industriale (magistrale de gaze, rețele electrice, întreprinderi care produc sau lucrează cu substanțe explozive), spitale, transportul feroviar (inclusiv metrul), locații administrative care lucrează cu publicul, cinematografe, săli de teatru.

Echipamentului se poate realiza în diverse moduri în funcție de aplicația concretă. Hardware se poate folosi un „Raspberry” (de exemplu) la care se adaugă un senzor de accelerație cu 3 axe la care se implementează un software conform organigramei din Figura 3. Sincronizarea stațiilor de avertizare  $S_1 - S_n$  se poate face prin NTP sau se poate adaugă un modul GPS la fiecare stație. Deosebirea față de „ShakeNet”, de exemplu, este că stațiile comunică între ele realizând localizarea (poziția, adâncimea, magnitudinea și momentul producerii seismului) independent pe măsura ce primesc informații de la celelalte stații. „EQ Locator” din „ShakeNet”, de exemplu, este implementat în fiecare stație de avertizare.

Invenția poate fi implementată în multe moduri (hardware și software), toate acestea fiind cuprinse în sfera de protecție a revendicărilor.

#### Bibliografie

1. Yih-Min Wu, Da-Yi Chen, Ting-Li Lin, Chih-Yih Hsieh, Tai-Lin Chin, Wen-Yen Chang, Wei-Sen Li, and Shaw-Hsung Ker (2013), A High-Density Seismic Network for Earthquake Early Warning in Taiwan Based on Low Cost Sensors, *Seismological Research Letters* Volume 84, Number 6 November/December, doi: 10.1785/0220130085.
2. Odaka, T., K. Ashiya, S. Tsukada, S. Sato, K. Ohtake, and D. Nozaka (2003). A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 93, 526–532.
3. Robert E. Anthony, Adam T. Ringler, David C. Wilson, and Emily Wolin (2018), Do Low-Cost Seismographs Perform Well Enough for Your Network? An Overview of Laboratory Tests and Field Observations of the OSOP Raspberry Shake

4D, Seismological Research Letters, DOI: 10.1785/0220180251.

4. Clinton J., Zollo A., Marmureanu A., Zulfikar C., Parolai S. (2016), State-of-the art and future of earthquake early warning in the European region, Bulletin of Earthquake Engineering, DOI 10.1007/s10518-016-9922-7.

5. Mărmureanu A., Ionescu C., Cioflan C. O.,(2010) Advanced real-time acquisition of the Vrancea earthquake early warning system, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, DOI 10.1016/J.SOILDYN.2010.10.002.

## METODA DE AVERTIZARE SEISMICA CU DECIZIE DESCENTRALIZATA

### REVENDICARI

Metoda este o noutate in implementarea unui sistem de avertizare seismica prin descentralizarea deciziei si asigurarea unui grad mare de siguranța in informarea beneficiarilor asupra unui eveniment care necesita o reacție rapida.

1. Metoda este caracterizata prin aceea ca decizia este descentralizata fiind realizata de fiecare stație (Figura 1,  $S_1 - S_n$ ) pe baza schimbului de informații cu celelalte stații din rețeaua de avertizare pe măsura detectării cutremurului in timp real fără a fi implicata o stație centrala de management (M).
2. Metoda este caracterizata prin aceea ca localizarea (poziția, adâncimea, magnitudinea si momentul producerii seismului) se face in fiecare stație (Figura 1,  $S_1 - S_n$ ) pe baza schimbului de informații cu celelalte stații din rețeaua de avertizare pe măsura detectării cutremurului in timp real fără a fi implicata o stație centrala de management (M).
3. Metoda este caracterizata prin aceea ca fiecare stație transmite informațiile de avertizare beneficiarilor (poziția, adâncimea, magnitudinea si momentul producerii seismului) fără a fi implicata o stație centrala de management (M) pe parcursul detectării cutremurului.



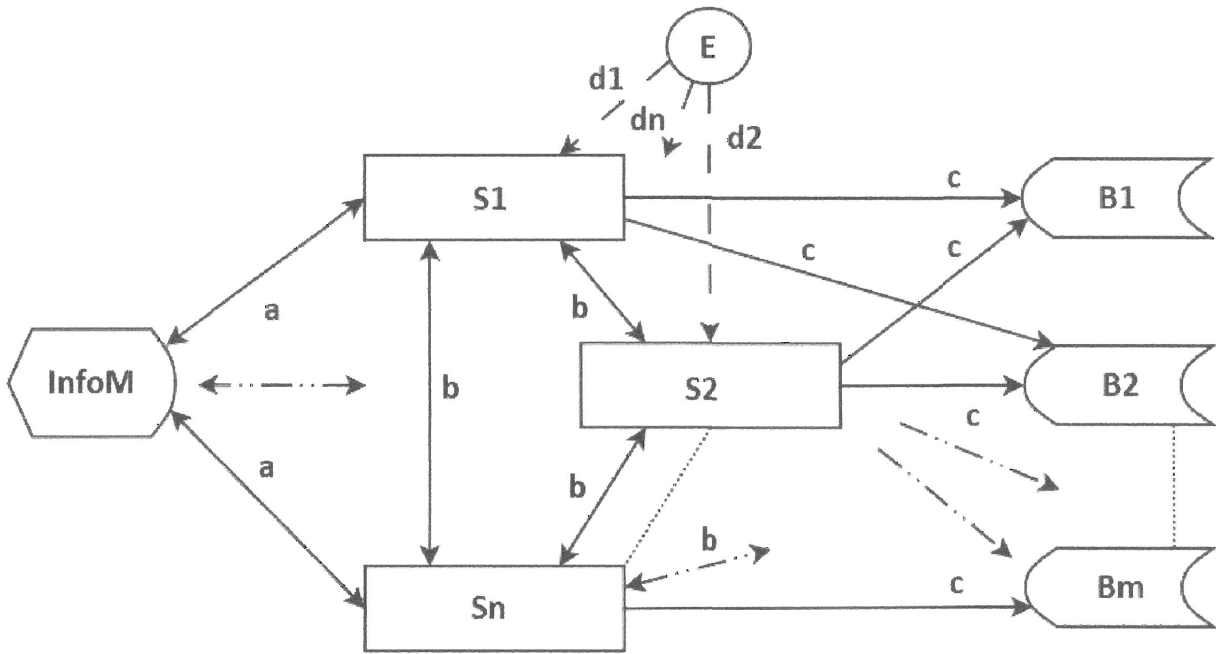


Figura 1

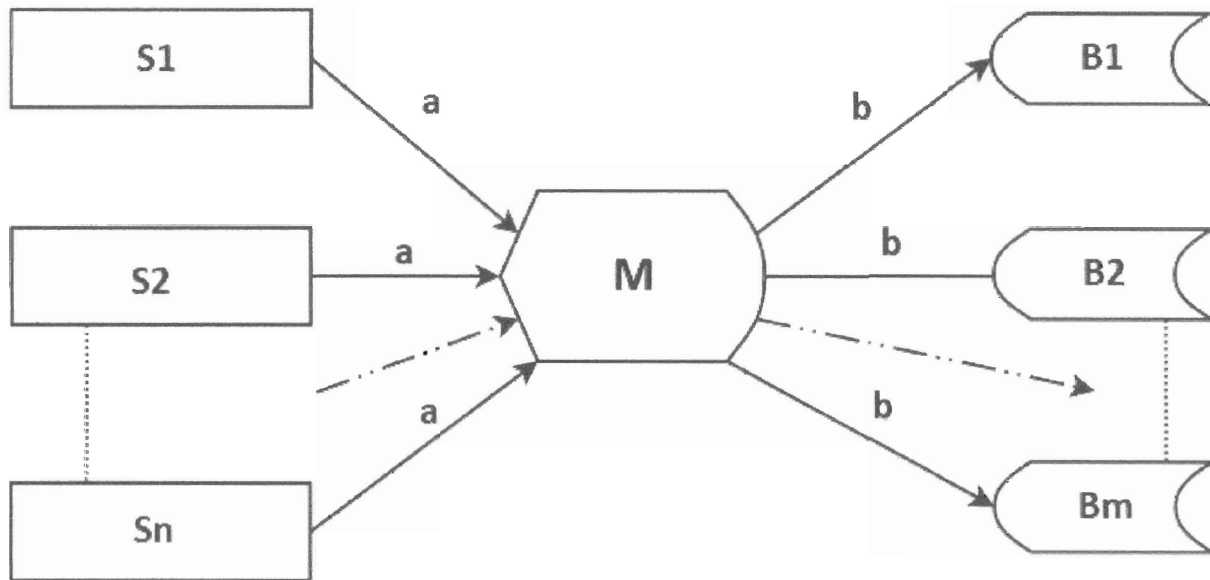


Figura 2

Statie de avertizare seismica  
(S1 ... n)

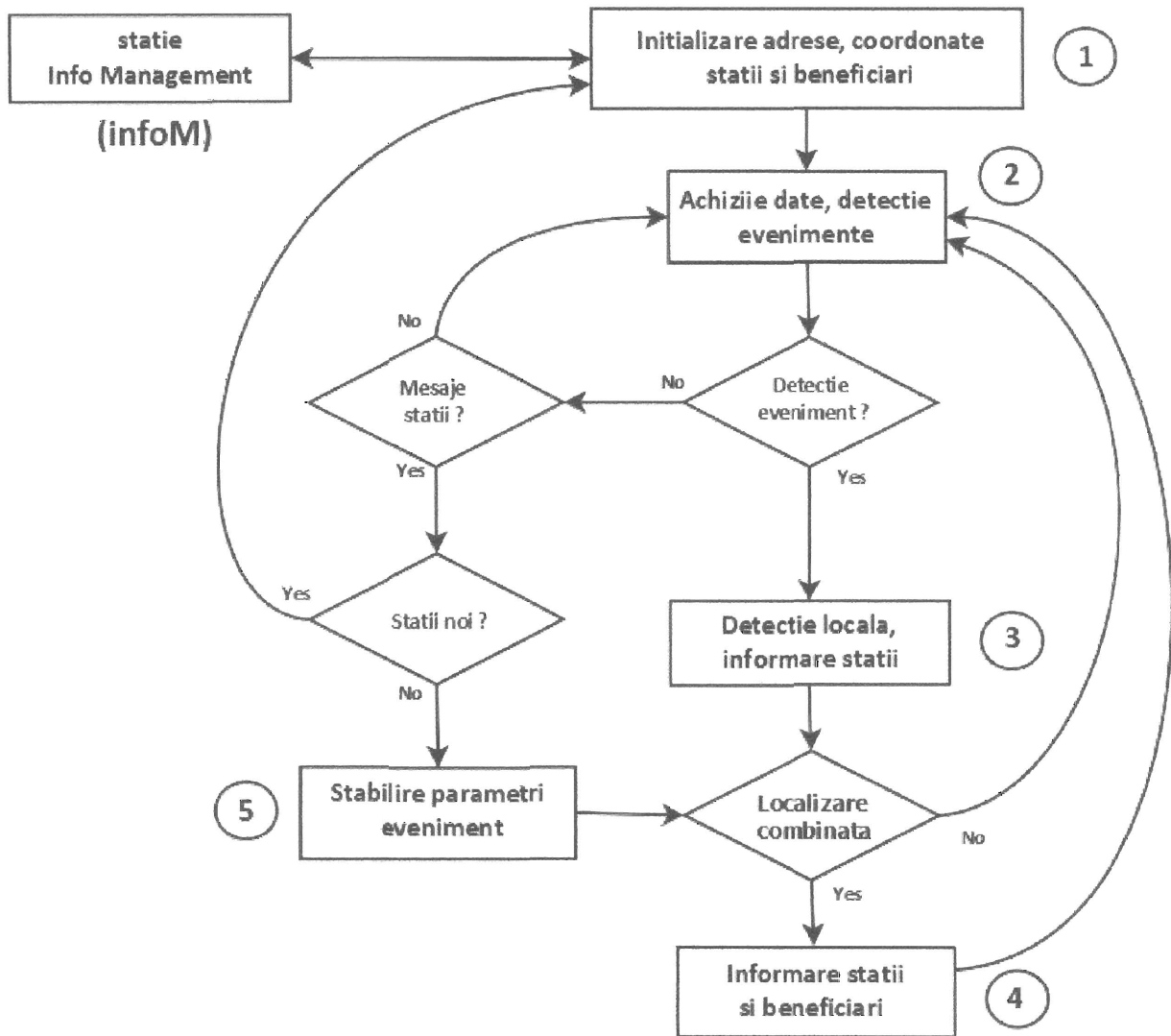


Figura 3