

Invenția se referă la optoelectronică, și anume la sisteme de semnalizare cu fibră optică și la procedee de localizare a intervenției neautorizate, și poate fi utilizată pentru paza clădirilor și teritoriilor, depozitelor de substanțe chimice și deșeurii radioactive, precum și a obiectelor militare, industriale etc.

Este cunoscut sistemul de pază care conține o serie de fire din cupru coaxiale întinse pe perimetrul obiectului. În momentul unei perturbații exterioare are loc deformarea cablului coaxial și variația semnalului electric transmis prin cablu. Variația semnalului electric declanșează un semnal de alarmă [1].

Neajunsul unui astfel de sistem este complexitatea realizării în practică și sensibilitatea la interferența câmpurilor electromagnetice.

Este cunoscută o altă soluție tehnică, în care sistemul cu fibră optică de semnalizare conține o fibră optică multimod, o diafragmă pentru formarea fasciculului de lumină, un fotodetector și un modul de formare a semnalului de alarmă, care la rândul său, include un condensator electric, un comparator, un dispozitiv de formare a impulsului și dispozitivul de afișare digitală [2].

Neajunsul unui astfel de sistem de pază constă în valoarea joasă a raportului semnal/zgomot. Acest neajuns este determinat, pe de o parte, de configurația poziției fotoreceptorului față de capătul de ieșire al fibrei optice, și, pe de altă parte, de configurația modului de formare a semnalului de alarmă.

Cea mai apropiată soluție tehnică este sistemul de pază cu fibră optică [3] care conține o fibră optică multimod conectată la o sursă de lumină coerentă, un fotoreceptor și un modul de formare a semnalului de alarmă, caracterizat prin aceea că fotoreceptorul este poziționat în câmpul îndepărtat la ieșirea din fibră, coaxial cu ea, și constă dintr-un receptor CCD pentru înregistrarea în regim continuu cu o frecvență stabilită de  $F$  cadre pe secundă a imaginii speckle din câmpul îndepărtat la ieșirea din fibra optică, iar modulul de formare al semnalului de alarmă este alcătuit dintr-un calculator (PC), softul căruia conține un diferențiator numeric al matricelor imaginilor speckle, un sumator al semnalelor-diferență a două imagini speckle înregistrate consecutiv și un comparator, care în paralel cu blocul de setare al pragului de sensibilitate, formează semnalul de alarmă când suma semnalelor-diferență a două imagini speckle înregistrate consecutiv, depășește pragul setat de sensibilitate al sistemului de pază.

Neajunsul acestui sistem este lipsa posibilității de localizare a intervenției neautorizate. Problema tehnică rezolvată de invenție constă în localizarea intervenției neautorizate.

Invenția soluționează problema prin aceea, că sistemul de pază cu fibră optică, care conține o fibră multimod, fibra-senzor, conectată la o sursă de lumină coerentă, un fotoreceptor și un modul de formare a semnalului de alarmă  $U$ , unde fotoreceptorul este poziționat la ieșire în câmpul îndepărtat al fibrei optice și este reprezentat de o matrice CCD pentru înregistrarea în regim continuu cu o frecvență stabilită de  $F$  cadre pe secundă a imaginii speckle din câmpul îndepărtat al fibrei optice, iar modulul de formare al semnalului de alarmă este alcătuit de un PC, softul căruia conține un diferențiator numeric al matricelor imaginilor speckle, un sumator al semnalelor-diferență a două imagini speckle înregistrate consecutiv și un comparator paralel cu blocul de setare al pragului de sensibilitate, care declanșează semnalul de alarmă când semnalul de ieșire, format ca suma semnalelor-diferență a două imagini speckle înregistrate consecutiv, depășește pragul setat de sensibilitate al sistemului de pază, caracterizat prin aceea că, pentru localizarea intruziunii sistemul este prevăzut cu o a două fibră optică 2, fibra de referință, amplasată paralel și în contact nemijlocit cu fibra-senzor 1, având la rândul ei un receptor CCD la ieșirea din fibră în câmpul îndepărtat, conectat la PC, un divizor de fascicul, care formează două fascicule optice, injectate respectiv în fibra-senzor 1 și fibra de referință 2.

Procedee pentru localizarea intervenției neautorizate într-un sistem de pază cu fibră optică, definit conform invenției, include formarea în fibra-senzor 1 a unei distribuții a modurilor de propagare, pentru care semnalul de ieșire  $S_{f1}$  în fibra-senzor, obținut prin procesarea imaginii speckle din câmpul îndepărtat, este proporțional cu distanța  $L$ , forța de deformare  $P$ , și coeficientul  $k_1$ :

$$S_{f1} = k_1LP, \quad (1)$$

iar în fibra de referință 2 se formează o astfel de distribuție a modurilor, pentru care semnalul de ieșire  $S_{f2}$  depinde doar de forța de deformare  $P$  și nu depinde de lungimea  $L$ :

$$S_{f2} = k_2P, \quad (2)$$

astfel, că semnalul de alarmă  $U$ , format de procesor ca raport al mărimilor  $S_{f1}$  și  $S_{f2}$  nu depinde de forța de deformare  $P$ , și este funcție de distanța  $L$  de la capătul de intrare al fibrei optice până la locul intruziunii:

$$U = S_{f1}/S_{f2} = kL, \text{ unde } [k] = \text{m}^{-1} \quad (3)$$

unde mărimea  $k = k_1/k_2$ .

Rezultatul tehnic obținut al invenției constă în localizarea intruziunii,  $L = k^{-1}U$ . Rezultatul tehnic obținut se datorează faptului că în fibra-senzor 1 se formează o astfel de distribuție a modurilor, pentru care semnalul de ieșire în câmpul îndepărtat al fibrei-senzor  $S_{f1}$  este funcție de forța de deformare în locul intruziunii  $P$ , distanța până la locul intruziunii  $L$  de la capătul de intrare al fibrei optice și un coeficient de proporționalitate  $k_1$ ,  $S_{f1} = k_1LP$ . În același timp, în fibra de referință 2 este formată o astfel de distribuție a modurilor, pentru care semnalul de ieșire din câmpul îndepărtat  $S_{f2}$ , este o funcție care depinde doar de forța de deformare a fibrei  $P$  în locul intruziunii și un coeficient de proporționalitate  $k_2$ ,  $S_{f2} = k_2P$ . Astfel, semnalul de alarmă  $U$ , care este obținut ca raport al mărimilor  $S_{f1}$  și  $S_{f2}$ , reprezintă mărimea  $U = S_{f1}/S_{f2} = kL$ . Din aceasta relație obținem  $L = k^{-1}U$  (m).

Mărimea  $U$  este o funcție, care depinde doar de distanța  $L$  de la capătul de intrare al fibrei optice până la locul intruziunii. Prin calibrarea mărimii  $U$  în raport cu distanța  $L$  vom pune fiecărei valori a mărimii  $U$  o singură valoare a distanței  $L$ , localizând astfel locul intervenției neautorizate.

Fiecare din receptorii CCD sunt poziționați în câmpul îndepărtat la ieșirea fibrei-senzor 1 și a fibrei de referință 2 respectiv, și sunt conectați la un PC, care îndeplinește funcția modulului de formare a semnalului de alarmă și procesează pixel-cu-pixel imaginile speckle captate de receptorii CCD. Frecvența de captare a cadrelor  $F$  înregistrate de CCD este setată având o anumită valoare, care satisface relației empirice:  $1 < F < 5$  cadre pe secundă. Conform softului elaborat PC procesează pixel-cu-pixel imaginile speckle și compară fiecare cadru curent al imaginii captate de CCD cu cadrul imediat precedent al imaginii speckle și calculează pixel-cu-pixel diferența acestor două imagini. În cazul când diferența a două imagini depășește pragul setat, este declanșat semnalul de alarmă. Softul cu care operează PC este prevăzut cu posibilitatea de setare a pragului de jos de declanșare al semnalului de alarmă, excluzând astfel semnalele false care pot fi provocate de condițiile mediului, acțiunea unor factori naturali, meteo, etc. Softul poate afișa pe monitorul PC semnalul de la fibra-senzor și valoarea distanței  $L$  până la locul intervenției neautorizate.

Invenția este ilustrată în următoarele figuri:

Fig. 1. Ilustrare a imaginii speckle la ieșirea din fibra multimod.

Fig. 2. Reprezentare schematică a sistemului de pază: (1) - fibra-senzor; (2) – fibra optică de referință; (3) - sursă de lumină coerentă; (4) – dispozitiv de injectare a fasciculului de lumină; (5) - divizor de fascicul; (6), (7) – receptori CCD; (8) – procesor/PC.

Fig. 3. Ilustrare a variației liniare a semnalului  $S_{f1}$  la capătul de ieșire al fibrei-senzor în raport cu distanța de la capătul de intrare al fibrei.

Fig. 4. Ilustrare a semnalului  $S_{f2}$  la capătul de ieșire al fibrei optice de referință vs. distanța de la capătul de intrare al fibrei optice.

Fig. 5. Ilustrare a algoritmului de procesare a imaginii speckle și formare a semnalului de alarmă: (1) - fibra-senzor; (2) – fibra optică de referință; (3) - sursă de lumină coerentă; (4) – dispozitiv de injectare a fasciculului de lumină; (5) - divizor de fascicul cu fibră optică; (6), (7) – receptori CCD; (8) – procesor/PC; (9) – deformație mecanică la intruziune; (10) – captare imagine curentă  $F_k$ ; (11) – captare imagine de referință (imagine imediat precedentă  $F_{k-1}$ ); (12) – scădere matrice  $F_{k-1}$  și  $F_k$ ; (13) - sumare a elementelor matricei  $F_{dk}$ ; (14) - setare nivel de declanșare; (15) –semnal de ieșire  $S_k$ ; (16) –formare semnal de alarmă  $S_{f1}/S_{f2}$ ; (17) – afișare pe monitor/sonorizare semnal de alarmă.

Fig. 6. Exemplu de vizualizare pe monitor a semnalului de alarma și afișare a distanței pînă la locul intruziunii.

Sistemul de pază cu fibră optică (Fig. 2, 5) conține o fibră optică multimod (fibra-senzor) (1), fibra optică de referință (2), sursa de lumină coerentă (3) cuplată la un divizor de fascicul (5), dispozitiv de injectare a fasciculului de lumină (4), doi receptori CCD (6) și (7) și un PC, (8). Procesorul PC formează semnalul de alarmă când perturbația exterioară, care acționează pe suprafața laterală a fibrei optice și semnalul înregistrat de CCD depășește pragul de declanșare a semnalului de alarmă setat.

*Sistemul de pază cu fibră optică funcționează în felul următor:*

Perturbația exterioară acționează asupra suprafeței laterale a fibrei optice-senzor (1). Fasciculul de lumină de la sursa laser (3), care este injectat în capătul de intrare al fibrei optice (1), se propagă prin fibra optică și formează la ieșire în câmpul îndepărtat al fibrei tabloul de interferență a modurilor de propagare - imaginea speckle (Fig. 1). Distribuția spațială a imaginii speckle în câmpul îndepărtat este dependentă de acțiunea perturbațiilor mecanice care acționează pe suprafața laterală a fibrei optice. Distribuția modurilor care se propagă în fibra optică multimod este determinată de indicele de refracție al fibrei optice, diametrul miezului și de *susceptibilitatea* acestor parametri la perturbațiile care produc deformații mecanice ale fibrei. Distribuția intensității luminii de probă la ieșire în câmpul îndepărtat al fibrei optice conține informație despre perturbațiile formate în urma acționării externe asupra fibrei optice. Perturbațiile mecanice care acționează asupra fibrei produc schimbări ale distanței optice parcurse de modurile de propagare în fibra optică. Ca rezultat are loc variația fazei modurilor de propagare și respectiv variația distribuției intensității tabloului de interferență în câmpul îndepărtat (Fig. 1). Fotoreceptorul CCD plasat în planul câmpului îndepărtat la ieșirea din probă înregistrează distribuția spațială a imaginii speckle în raport cu perturbațiile mecanice care acționează asupra fibrei optice. În felul acesta este pusă în corelație directă semnalul de ieșire al receptorului cu perturbațiile mecanice care acționează asupra fibrei optice.

În calitate de fotoreceptor este folosită o matrice CCD, iar în calitate de dispozitiv de achiziție și procesare a imaginii optice - un calculator (PC), prevăzut cu un soft care procesează imaginea speckle din câmpul îndepărtat la ieșire din fibră și formează semnalul de ieșire în raport cu amplitudinea perturbațiilor mecanice care acționează asupra suprafeței laterale a fibrei optice. Astfel, imaginea de interferență din câmpul îndepărtat pentru fiecare moment de timp  $t_k$  este pusă în corelație directă cu o matrice de date  $F_k$ . Fiecare element  $\langle x_i, y_i \rangle$  al acestei matrice, numite în continuare matricea curentă  $F_k$ , reprezintă intensitatea la momentul de timp  $t_k$  într-un anumit pixel al receptorului CCD având coordonatele  $x_i, y_i$ . Semnalul de ieșire al receptorului este format prin sumarea valorilor absolute a tuturor elementelor matricei  $F_{dk}$ , care la rândul ei reprezintă diferența dintre matricea curentă  $F_k$  și matricea precedentă  $F_{k-1}$  (Fig. 5).

Algoritmul pentru procesarea imaginii speckle este bazat pe principiul comparării imaginii curente, captate de receptorul CCD în momentul de timp  $t = t_k$  cu imaginea imediat precedentă captată în momentul de timp  $t_{k-1}$ . Receptorul CCD captează imaginea speckle în momentul de timp  $t_k$  și această imagine este stocată în memoria bufer (*Aici și în continuare când vorbim de stocarea și procesarea imaginilor subînțelegem stocarea și procesarea matricelor imaginilor respective*). Următorul cadru al imaginii speckle este captat în momentul de timp  $t_{k-1}$ . Fiecare din imaginea curentă  $I_k$  este scăzută *pixel-cu-pixel* din imaginea precedentă  $I_{k-1}$  conform relației:

$$I_k^d(x_i, y_j) = |I_k(x_i, y_j) - I_{k-1}(x_i, y_j)|, \quad (4)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r_1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, r_2,$$

unde  $I_k^d$  reprezintă valoarea absolută a diferenței semnalului pentru pixelul  $n$  cu coordonatele  $(x, y)$  corespunzător momentului de timp  $t_k$ . Următorul pas al operației de procesare este sumarea tuturor semnalelor  $I_k^d$  de la toți  $M$ -pixeli ale matricei CCD ( $M = r_1 \times r_2$ ) și determinarea valorii absolute a semnalului de ieșire  $S_k$  pentru momentul de timp  $t_k$ :

$$S_k = \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{j=1}^{r_2} I_k^d(x_i, y_j), \quad (5)$$

unde  $r_1$  și  $r_2$  reprezintă rezoluția receptorului CCD pe axa  $x$ - și  $y$ - respectiv. Valoarea numerică a sumei  $S_k$  poate fi afișată pe monitor în formă grafică în calitate de semnal de ieșire pentru fiecare moment de timp  $t_k$ . Algoritmii de procesare a imaginii speckle și formarea semnalului de alarmă este ilustrat în Fig. 5.

La acțiunea unei perturbații mecanice pe fibra-senzor semnalul de ieșire crește de la valoarea „0” până la valoarea maximală, determinată de amplitudinea perturbației mecanice care acționează asupra fibrei optice și de distribuția modurilor. Conform invenției, prin excitarea controlată a modurilor, este creată o astfel de distribuție a modurilor în fibra optică senzor, pentru care semnalul de ieșire  $S_{f1}$  este proporțional forței de deformație  $P$  și distanței de la capătul de intrare al fibrei până la locul intruziunii  $L$  (Fig. 5):

$$S_{f1} = k_1 PL$$

Pe de alta parte, în fibra de referință este creată o astfel de distribuție a modurilor, pentru care semnalul de ieșire al fibrei de referință  $S_{f2}$  este dependent doar de forța de deformație  $P$  și nu depinde de distanța  $L$  (Fig. 4):

$$S_{f2} = kP$$

Semnalul de alarmă  $U$  este format ca raportul a două mărimi  $S_{f1}$  și  $S_{f2}$ , astfel obținem:

$$U = S_{f1}/S_{f2} = k_1 PL/k_2 P = kL,$$

unde  $k$  este un coeficient de proporționalitate,  $k = k_1/k_2$ ,  $[k] = m^{-1}$ .

În felul acesta mărimea  $U = kL$  ne prezintă informația despre locul intruziunii ( $L$ ) în raport cu capătul de intrare al fibrei optice,  $L = U \times k^{-1}$ . Pentru aplicații practice se va face calibrarea sistemului de pază,  $L$  vs.  $U$ .

Exemplu

Un laser HeNe (JIF-113) injectează în capătul de intrare al fibrei optice-senzor (1) un fascicul de lumină coerent, iar la ieșire în câmpul îndepărtat al fibrei optice coaxial cu fibra este poziționat un receptor CCD (6), conectat la modulul de formare a semnalului de alarmă (8) (Fig. 2, 5). Prin intermediul unui divizor de fascicol (5) fasciculul de lumină este injectat în fibra-senzor și fibra optică de referință (2). Fiecare din receptorii (6) și (7) reprezintă o matrice CCD tip HDCS-1020 CMOS cu dimensiunile unui pixel  $7,4 \times 7,4 \mu m$ , și dimensiunile imaginii VGA  $640 \times 480$ .

Modulul de formare a semnalului de alarmă (8) este reprezentat de un calculator (PC) care formează semnalul de ieșire în dependență de acțiunea perturbațiilor mecanice pe suprafața laterală a fibrei optice. Lungimea fibrei optice cu profilul indicelui de refracție în treaptă este de 16 m, diametrul învelișului fibrei este de  $125 \mu m$ , și diametrul miezului este de  $50 \mu m$ .

Pentru formarea semnalului de ieșire imaginea speckle din câmpul îndepărtat pentru fiecare moment de timp  $t_k$  se pune în corelație directă cu o matrice de date curente  $F_k$  (10). Fiecare din elementele  $(x_i y_i)$  ale matricei de date curente  $F_k$  reprezintă valoarea intensității înregistrate de pixelul cu coordonatele  $x_i y_i$  al senzorului CCD. Semnalul de ieșire  $S_k$  este format prin sumarea valorilor absolute a tuturor elementelor matricei  $F_{dk}$  (12), iar matricea  $F_{dk}$  la rândul ei, reprezintă diferența (11) dintre matricea curentă  $F_k$  (10) și matricea imediat precedentă  $F_{k-1}$  (11) captată în momentul de timp  $t_{k-1}$ .

Algoritmii pentru procesarea imaginii speckle din câmpul îndepărtat este bazat pe compararea imaginii curente captate de CCD în momentul de timp  $t = t_k$  cu imaginea imediat precedentă captată în momentul de timp  $t_{k-1}$ . Senzorul CCD captează imaginea de interferență în momentul de timp  $t_k$  și această imagine este stocată în memoria bufer. Următorul cadru al imaginii de interferență este captat în momentul de timp  $t_{k-1}$ . Fiecare din imaginea curentă  $I_k$  este scăzută *pixel-cu-pixel* din imaginea precedentă  $I_{k-1}$  conform relației:

$$I_k^d(x_i, y_j) = |I_k(x_i, y_j) - I_{k-1}(x_i, y_j)|,$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r_1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, r_2,$$

unde  $I_k^d$  reprezintă valoarea absolută a diferenței semnalului pentru pixelul  $n$  cu coordonatele  $(x, y)$  corespunzător a două imagini luate în momentul de timp  $t_k$  și în momentul de timp  $t_{k-1}$ . Următorul pas al operației de procesare este sumarea tuturor semnalelor  $I_k^d$  pentru  $M$ -pixeli și determinarea valorii absolute  $S_k$  corespunzătoare momentului de timp  $t_k$ :

$$S_k = \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{j=1}^{r_2} I_k^d(x_i, y_j),$$

unde  $r_1$  și  $r_2$  reprezintă rezoluția senzorului CCD pe axa  $X$ - și  $Y$ - respectiv.

Valoarea numerică a sumei  $S_k$  (15) este comparată cu nivelul setat de declanșare a semnalului de alarmă (14). În cazul când valoarea  $S_k$  (15) depășește nivelul setat de declanșare are loc activarea declanșarea semnalului de alarmă. Pentru fibra-sensor (1) semnalul de ieșire, notat  $S_{f1}$ , este funcție de deformația  $P$ , distanța până la capătul de intrare  $L$  și coeficientul de proporționalitate  $k_1$  (Fig. 4):

$$S_{f1} = k_1 PL.$$

Pentru fibra de referință (2) semnalul de ieșire, notat  $S_{f2}$ , este direct proporțional cu forța de deformare  $P$  și cu coeficientul de proporționalitate  $k_2$  (Fig. 5):

$$S_{f2} = k_2 P.$$

Semnalul de alarmă  $U$  al sistemului de pază (17) este format prin determinarea raportului  $S_{f1}/S_{f2}$ :

$$U = S_{f1}/S_{f2} = kL, [k] = \text{m}^{-1}.$$

Locul intruziunii  $L$  este determinat din relația  $L = U \times k^{-1}$  și afișat pe monitor (Fig. 6).

Pentru calibrarea sistemului de pază se înregistrează dependența semnalului de ieșire  $S_{f1}$  și  $S_{f2}$  în raport cu distanța  $L$ . Imaginile din Fig. 3 și Fig. 4 exemplifică această procedură. Pentru măsurători în laborator valoarea forței de deformație este egală  $P = 0,2$  N. Din dependența  $S_{f1} = f(L)$  din Fig. 3 este determinată valoarea coeficientului  $k_1$ ,  $k_1 = S_{f1}/PL = (1,15 \times 10^6)/(0,2 \times 4) = 1,44 \times 10^6$  ( $\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$ ). În același mod, din dependența experimentală din Fig. 4 este determinată valoarea coeficientului  $k_2$ ,  $k_2 = (0,96 \times 10^6)/0,2 = 4,8 \times 10^6$  ( $\text{N}^{-1}$ ). În consecință valoarea coeficientului  $k$  pentru exemplul dat este egală,  $k = 0,3$  ( $\text{m}^{-1}$ ). În condiții reale fiecare sistem de pază este calibrat.