

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **219645**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **395076**

(51) Int.Cl.
A61B 8/00 (2006.01)
G01S 7/52 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **31.05.2011**

(54)

**Układ do kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej
do obrazowania przestrzennego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

03.12.2012 BUP 25/12

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.06.2015 WUP 06/15

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL
INSTYTUT TECHNIKI I APARATURY
MEDYCZNEJ ITAM, Zabrze, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ROMUALD BĘDZIŃSKI, Wrocław, PL
KRZYSZTOF KRYSZTOFORSKI, Wrocław, PL
PAWEŁ KROWICKI, Ostrzeszów, PL
EWELINA ŚWIĄTEK-NAJWER, Wrocław, PL
ŁUKASZ JUSZYŃSKI, Przyszowice, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Regina Kozłowska

PL 219645 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej do obrazowania przestrzennego, znajdującej zastosowanie zwłaszcza w medycynie do badania struktur tkankowych. Nawigowana głowica ultrasonograficzna jest to sonda wyposażona w czujnik nawigacyjny, którego położenie w przestrzeni kontroluje system nawigacyjny.

Stanowisko i sposób kalibracji głowicy ultrasonograficznej z wykorzystaniem wielu podłużnych markerów, w szczególności prętów o średnicy co najmniej 3 mm, znane są ze zgłoszenia patentowego USA nr US20060036170. Wielkość markerów (grubość żyłki) powinna zapewnić koncentryczne echo niezależnie od kąta ustawienia głowicy ultrasonograficznej. Średnica echa zależy od charakterystyki zjawiska odbicia fal akustycznych zależnej od zastosowanej długości fali ultradźwięków. Prawidłowe echo przy obrazowaniu za pomocą standardowego ultrasonografu występuje dla markerów o średnicy 12 mm. Stanowisko zawiera: głowicę ze specjalnym uchwytem oraz układ z markerami w postaci prętów sugerowanych jako jedyne elementy zapewniające echo koncentryczne. Serie żyłek rozmieszczone są równolegle lub prostopadle względem siebie. Niezbędna jest definicja geometrii rozmieszczenia markerów w fantomie w układzie referencyjnym fantomu. Głowica ultrasonograficzna wyposażona jest w czujnik nawigacyjny według opisanej w patencie konstrukcji montażu. Opisano metodę przeliczania transformacji układów współrzędnych dla nawigowanej głowicy ultrasonograficznej. Obrazy ultrasonograficzne mogą być rejestrowane pod dowolnym kątem względem markerów, a pozycja nawigowanej głowicy ultrasonograficznej jest kontrolowana za pomocą lokalizatora. Koncentryczne i dyfuzyjne echa pochodzące od podłużnych markerów (żyłek) lokalizowane są na obrazie ultrasonograficznym.

Zastosowanie nawigacji komputerowej w połączeniu z ultrasonografią do przestrzennej rekonstrukcji danych znane jest ze zgłoszenia patentowego USA nr US20060241432. Patent ten również opisuje stanowisko kalibracyjne do wzorcowania głowicy ultrasonograficznej.

W aspekcie kalibracji głowic ultrasonograficznych istotne znaczenie ma prędkość ultradźwięków. Znane założenie ultrasonografii o stałej prędkości ultradźwięków 1540 m/s wprowadza zakłócenia na etapie analizy obrazu. Sposób określania prędkości rozchodzenia się ultradźwięków i sposób uwzględnienia zmierzonej prędkości w obrazowaniu ultradźwiękowym znane są ze zgłoszenia patentowego US20090312641.

Sposób kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej na podstawie rejestracji jednego skanu, wirtualnych ruchów głowicą i obliczeniu odpowiadających nowym pozycjom skanów, znany jest z międzynarodowego zgłoszenia patentowego nr WO2009071503.

Sposób kalibracji nawigowanej głowicy za pomocą fantomu, znany jest z międzynarodowego zgłoszenia patentowego nr WO2005084551, zgodnie z którym sztywne struktury kalibrujące cechuje znaczna odmienność impedancji akustycznej od kalibrującego elementu, to jest reszty układu kalibrującego, na przykład medium. Wymogiem postawionym jest użycie wielu struktur kalibrujących liniowo niezależnych.

Istota układu, według wynalazku, polega na tym, że zawiera układ nawigacji optycznej i ultrasonograf podłączone do komputera. Ultrasonograf podłączony jest z głowicą osadzoną w fantomie kalibracyjnym zanurzonym w zbiorniku wypełnionym cieczą o stabilizowanej temperaturze za pomocą grzałki z termostatem, podłączonej do układu sterowania temperatury wyposażonego w czujnik temperatury umieszczony w zbiorniku.

Korzystnie, fantom kalibracyjny ma podstawę z układem markerów w postaci żyłek, nad którym umieszczona jest ramka z membraną, przy czym podstawa połączona jest z nadstawką. W nadstawce zamocowany jest uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym, natomiast do bocznej ścianki nadstawki zamocowana jest co najmniej jedna ramka referencyjna układu kalibracyjnego.

Korzystnie, nadstawka wykonana jest w postaci tulei, w której uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym osadzony jest obrotowo i blokowany elementami zaciskającymi.

Korzystnie, podstawę stanowi blok prostopadłościenny, w którym wykonane jest podłużne wgłębienie na układ markerów mocowany w otworach wykonanych na pięciu poziomach dłuższych bocznych ścian podstawy, przy czym układ markerów zamocowanych w otworach na pierwszym, trzecim i piątym poziomie ma kształt podwójnej litery 'N', zaś układ markerów zamocowanych w otworach na drugim i czwartym poziomie ma kształt odwróconej podwójnej litery 'N', ponadto w każdej krótszej bocznej ścianie podstawy wykonany jest co najmniej jeden otwór umożliwiający napływ cieczy do wnętrza podstawy.

Kalibracja głowicy ultrasonograficznej pozwala zdefiniować macierz transformacji układu współrzędnych obrazu ultrasonograficznego do układu współrzędnych czujnika zamocowanego na głowicy. Ogólna zasada kalibracji polega na określeniu macierzy zapewniającej optymalne dopasowanie, czyli z najmniejszym błędem transformacji dwóch zbiorów danych, gdzie pierwszy zbiór danych to położenie echa markerów w układzie odniesienia fantomu wyznaczone na podstawie projektu fantomu i odległości pomiędzy echami, a drugi zbiór danych to obliczone położenie echa markerów z uwzględnieniem szukanej macierzy kalibracyjnej. Układ do kalibracji może służyć do wzorcowania dowolnego aparatu obrazującego w dowolnym referencyjnym układzie współrzędnych. Przykładem aplikacji opracowanego układu jest kalibracja głowicy ultrasonograficznej, której uchwyt umożliwia przekształcenie klasycznej głowicy ultrasonograficznej w układ do nawigowanej ultrasonografii nazywanej ultrasonografią z wolnej ręki, z możliwością śledzenia położenia głowicy ultrasonograficznej. Metoda ta umożliwia przestrzenną analizę zapisanych wraz z położeniem w układzie odniesienia obrazów ultrasonograficznych. Wzorcowanie urządzeń obrazujących typu głowice ultrasonograficzne jest niezbędne do kalibracji wielkości piksela obrazu oraz określenia położenia każdego piksela obrazu w wybranym układzie odniesienia. Układ pozwala na określenie współrzędnych echa markerów na podstawie zależności geometrycznych w strukturach o kształcie litery 'N', a następnie dobór macierzy kalibracyjnej przekształcającej współrzędne na dwuwymiarowym obrazie USG do przestrzennych współrzędnych w układzie odniesienia fantomu.

Przedmiot wynalazku uwidoczniiony jest w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia pełny układ do kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej, fig. 2 – układ do kalibracji głowicy ultrasonograficznej wraz z głowicą ultrasonograficzną, fig. 3 – podstawy fantomu do wzorcowania głowicy ultrasonograficznej, fig. 4 – geometrię pojedynczego poziomu sieci markerów dla poziomów parzystych i nieparzystych, fig. 5 – rozkładach markerów w obrazie USG.

Układ do kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej do obrazowania przestrzennego wyposażony jest w układ nawigacji optycznej 1 i ultrasonograf 7 podłączone do komputera 6. Ultrasonograf 7 połączony jest z głowicą umieszczoną w fantomie kalibracyjnym 8 zanurzoną w zbiorniku 5 wypełnionym cieczą o temperaturze stabilizowanej za pomocą grzałki 4 z termostatem podłączonej do układu sterowania temperatury 2 wyposażonego w czujnik temperatury 3 umieszczony w zbiorniku 5. Układ sterowania temperatury 2 stabilizuje temperaturę w zbiorniku 5 z dokładnością $0,1^{\circ}\text{C}$, przy czym kalibrację prowadzi się w temperaturze z zakresu $36\text{--}37^{\circ}\text{C}$, to jest w temperaturze odpowiadającej typowym warunkom rozchodzenia się ultradźwięków podczas badania ultrasonograficznego. Fantom kalibracyjny 8 ma podstawę 9 z układem markerów w postaci żyłek, nad którym umieszczona jest ramka 11 z membraną 12 z gumy silikonowej o twardości 40 stopni Shore'a. Podstawa 9 połączona jest z nadstawką 10, w której zamocowany jest uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym 14. Do bocznej ścianki nadstawki 10 zamocowane są dwie ramki referencyjne układu kalibracyjnego 15, z którymi związany jest układ współrzędnych fantomu, stanowiący układ odniesienia dla nawigowanej głowicy. Nadstawka 10 wykonana jest w postaci tulei, w której uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym 14 osadzony jest obrotowo i blokowany elementami zaciskającymi 13. Podstawę 9 stanowi blok prostopadłościenny, w którym wykonane jest podłużne wgłębienie na układ markerów w postaci żyłki mocowanej i przewlekanej przez otwory A, B, C, D, E, F, G, H, I, J wykonane na pięciu poziomach dłuższych bocznych ścian podstawy 9, wszystkie pięćdziesiąt otworów ma średnicę 0,5 mm, przy czym układ markerów zamocowanych w otworach A, B, C, D, E, F, G, H, I, J na pierwszym, trzecim i piątym poziomie ma kształt podwójnej litery 'N', zaś układ markerów zamocowanych w otworach A, B, C, D, E, F, G, H, I, J na drugim i czwartym poziomie ma kształt odwróconej podwójnej litery 'N', ponadto w każdej krótszej bocznej ścianie podstawy 9 wykonane są po dwa otwory O każdy o średnicy 6 mm, umożliwiające napływ cieczy do wnętrza podstawy 9 do poziomu zapewniającego wizualizację markerów na obrazie ultrasonograficznym.

Kalibrację nawigowanej głowicy ultrasonograficznej rozpoczyna zapis obrazu ultrasonograficznego markerów i pozycji głowicy ultrasonograficznej w układzie fantomu, po czym dla wszystkich pięciu poziomów, mierzy się odległości pomiędzy echami markerów na obrazie ultrasonograficznym będące długościami odcinków MK, KN, NL, LO. Kolejną czynnością jest pomiar dwuwymiarowych współrzędnych ech pochodzących od markerów na obrazie USG, wyrażonych w milimetrach, w zależności od rozdzielczości obrazowania oraz oblicza się współrzędne przekrojów żyłek (markerów) dla wszystkich pięciu poziomów w punktach M, K, N, L, O w układzie odniesienia fantomu 8. Następnie oblicza się macierz kalibracyjną głowicy na podstawie kryterium minimalizacyjnego.

Osadzenie obrotowo głowicy na nadstawce fantomu 10 w uchwycie głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym 14 umożliwia dostosowanie pozycji głowicy w fantomie kalibracyjnym 8, zapewniającej zobrazowanie markerów. Pozycja głowicy w fantomie 8 może być dowolna, jednakże niezbędne jest utrzymanie widoczności czujnika nawigacyjnego głowicy przez układ nawigacji optycznej 1. Fantom 8 zawiera wbudowaną membranę 12 umieszczoną precyzyjnie pod powierzchnią skanowania, dzięki czemu jej lokalizacja również stanowi dodatkowy marker do kalibracji głowicy USG. Ponadto fantom 8 posiada dwie ramki referencyjne układu kalibracyjnego 15, które w zależności od potrzeb mogą zamiennie wyznaczać lokalny układ współrzędnych z uwzględnieniem macierzy przejścia pomiędzy układami współrzędnych obu czujników. Echo od markerów w postaci żyłek ma charakter rozmyty i kształtem przypomina elipsę. Zastosowanie cieńszej żyłki umożliwia powstanie mniejszego echa, co ułatwia analizę punktów do kalibracji. Fantom 8 powinien być wykonany precyzyjnie z użyciem maszyny sterowanej numerycznie (CNC), która zapewniła precyzyjne położenie sieci otworów A, B, C, D, E, F, G, H, I, J w lokalnym układzie odniesienia fantomu 8.

Wykaz oznaczeń na rysunku:

1. – układ nawigacji optycznej,
2. – układ sterowania temperatury,
3. – czujnik temperatury,
4. – grzałka,
5. – akwarium,
6. – komputer,
7. – ultrasonograf,
8. – fantom kalibracyjny,
9. – podstawa,
10. – nadstawka,
11. – ramka,
12. – membrana,
13. – element zaciskający,
14. – uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym,
15. – ramka referencyjna układu kalibracyjnego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do kalibracji nawigowanej głowicy ultrasonograficznej do obrazowania przestrzennego wyposażony w głowicę z uchwytem oraz układ markerów w postaci żyłek, **znamienny tym**, że układ nawigacji optycznej (1) i ultrasonograf (7) podłączone są do komputera (6), przy czym ultrasonograf (7) połączony jest z głowicą umieszczoną w fantomie kalibracyjnym (8) zanurzonym w zbiorniku (5) wypełnionym cieczą o stabilizowanej temperaturze za pomocą grzałki (4) z termostatem podłączonej do układu sterowania temperatury (2) wyposażonego w czujnik temperatury (3) umieszczony w zbiorniku (5).

2. Układ, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że fantom kalibracyjny (8) ma podstawę (9) z układem markerów w postaci żyłek, nad którym umieszczona jest ramka (11) z membraną (12), przy czym podstawa (9) połączona jest z nadstawką (10), w której zamocowany jest uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym (14), natomiast do bocznej ścianki nadstawki (10) zamocowana jest co najmniej jedna ramka referencyjna układu kalibracyjnego (15).

3. Układ, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że nadstawka (10) wykonana jest w postaci tulei, w której uchwyt głowicy ultrasonograficznej z czujnikiem nawigacyjnym (14) osadzony jest obrotowo i blokowany elementami zaciskającymi (13).

4. Układ, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podstawę (9) stanowi blok prostopadłościenny, w którym wykonane jest podłużne wgłębienie na układ markerów mocowany w otworach (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) wykonanych na pięciu poziomach dłuższych bocznych ścian podstawy (9), przy czym układ markerów zamocowanych w otworach (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) na pierwszym, trzecim i piątym poziomie ma kształt podwójnej litery 'N', zaś układ markerów zamocowanych w otworach (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) na drugim i czwartym poziomie ma kształt odwróconej podwójnej litery 'N', ponadto w każdej krótszej bocznej ścianie podstawy (9) wykonany jest co najmniej jeden otwór (O) umożliwiający napływ cieczy do wnętrza podstawy (9).

Rysunki

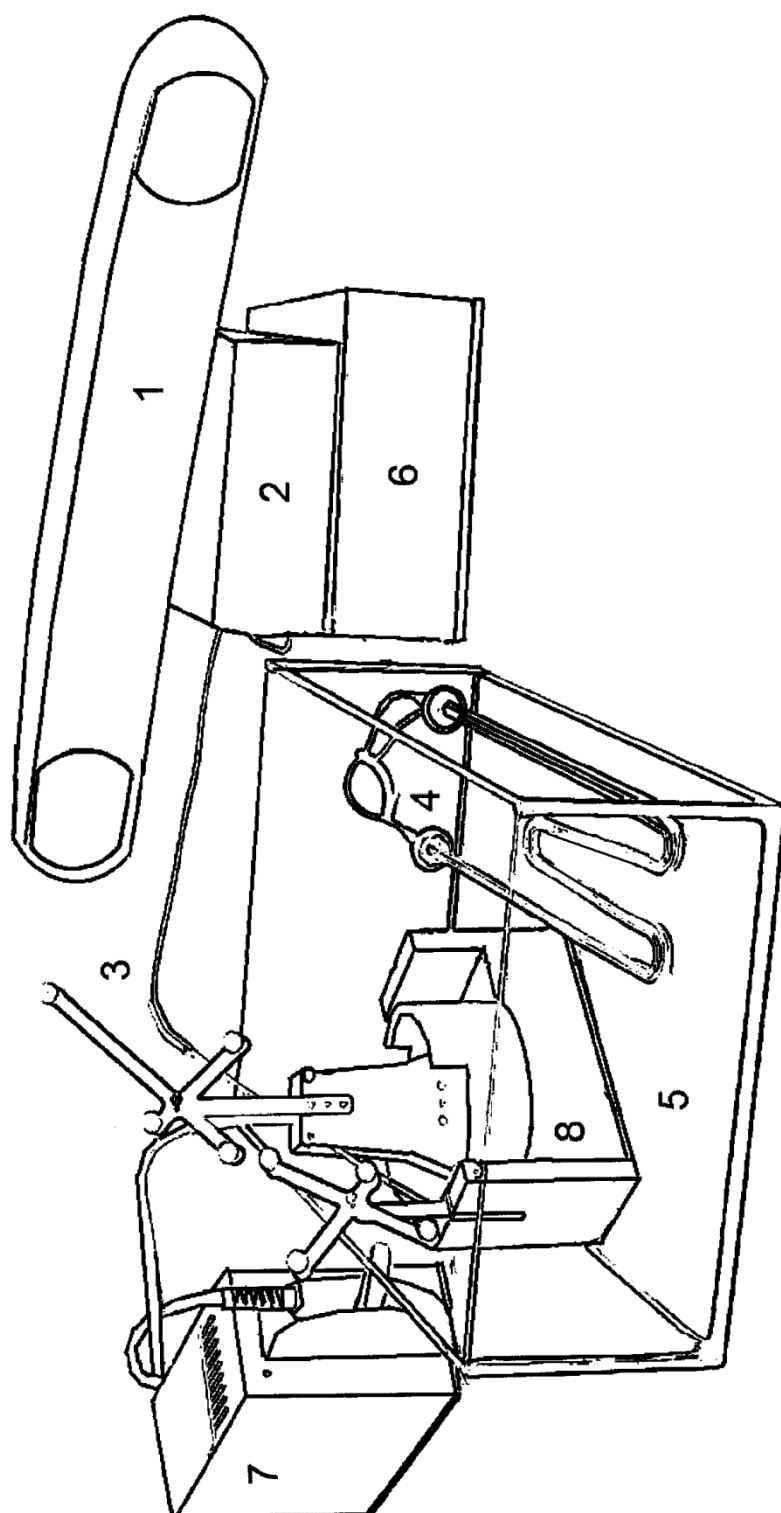


Fig. 1

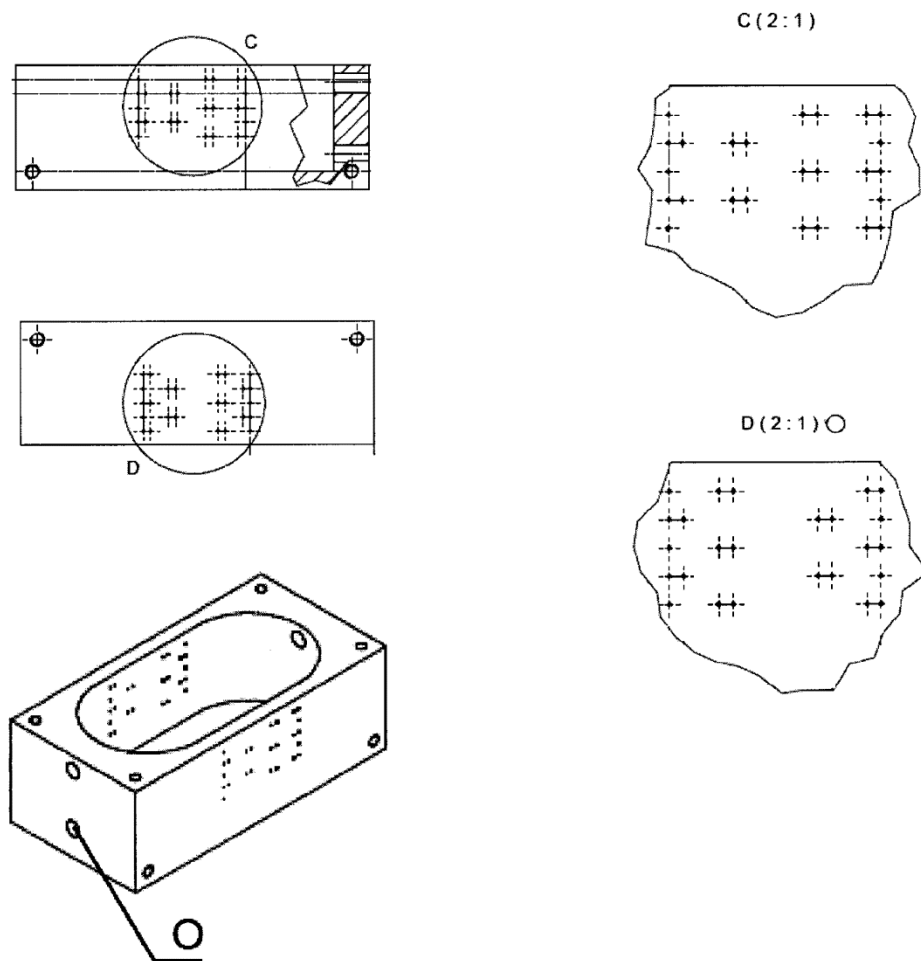


Fig. 3

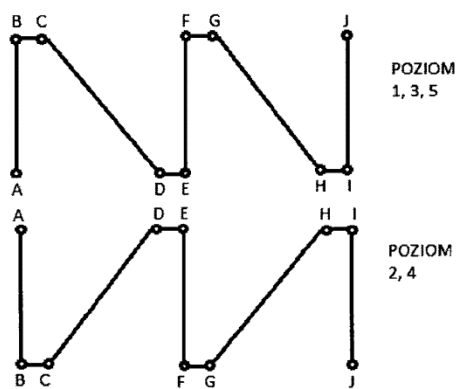


Fig. 4

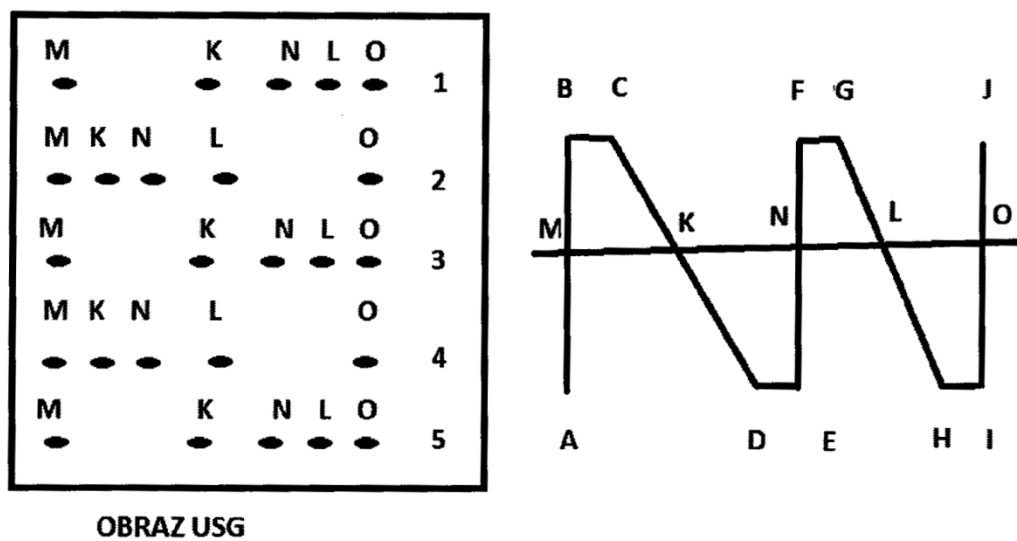


Fig. 5