

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **220976**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **393072**

(22) Data zgłoszenia: **29.11.2010**

(51) Int.Cl.

**G01S 17/00 (2006.01)**

**G01S 17/10 (2006.01)**

**G01S 17/32 (2006.01)**

**G01C 3/00 (2006.01)**

(54)

**Sposób i urządzenie do pomiaru odległości**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**04.06.2012 BUP 12/12**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**29.02.2016 WUP 02/16**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**GRZEGORZ WIECZOREK, Zabrze, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzec. pat. Urszula Ziółkowska**

**PL 220976 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i urządzenie do pomiaru odległości. Urządzenie może znaleźć zastosowanie w takich dziedzinach jak geodezja, budownictwo, automatyzacja procesów przemysłowych, inwentaryzacja, systemy zobrazowania przestrzennego.

Przedmiot wynalazku może być w formie urządzenia przenośnego, jak i urządzenia stacjonarnego.

Znanych jest wiele metod pomiaru odległości, spośród których wyróżnić można metody wykorzystujące odpowiednio zmodulowany sygnał optyczny z wyjścia lasera. Metody pomiaru odległości w dalmierzach laserowych zasadniczo dzielą się na dwie grupy. Do pierwszej grupy można zaliczyć metody wykorzystujące pomiar fazy sygnału odbitego, a do drugiej metody pomiaru czasu przelotu impulsu świetlnego. Systemy, których zasada działania opiera się na pomiarze opóźnienia powracającego impulsu zazwyczaj charakteryzują się niską rozdzielczością określania odległości, co wynika wprost z dużego problemu pomiaru małych opóźnień czasowych z bardzo dużą rozdzielczością czasową. Sporym utrudnieniem w realizacji tego rodzaju metod jest zapewnienie możliwości pomiaru z małej odległości. Systemy pomiaru odległości wykorzystujące pomiar fazy powtarzalnego sygnału modulującego strumień świetlny z reguły umożliwiają osiągnięcie większej rozdzielczości, jednakże ze względu na ciągłą pracę lasera ograniczona jest moc emitowanego sygnału, co wpływa na ograniczenie zasięgu. Znane są rozwiązania dalmierzy laserowych wykorzystujących ciągi pseudolosowe. W układach tych sygnał pseudolosowy służy do zwiększenia jednoznaczności wyniku (problem niejednoznaczności pomiaru fazy w przypadku modulacji sygnałem okresowym) lub też zwiększenia odporności na niepożądane sygnały. Metody te opierają się na wielokrotnym powtarzaniu cyklu pomiarowego (pełny ciąg pseudolosowy) ze zmienionym każdorazowo opóźnieniem. Analiza sygnału na wyjściu korelatora umożliwia wychwycenie momentu w którym pojawia się maksimum i na tej podstawie wyznaczenie szukanego opóźnienia sygnału. W innych metodach również powtarza się wielokrotnie cykl pomiarowy i rejestruje się wyniki korelacji sygnału, po czym na podstawie serii tych wyników wyznacza się najlepiej dopasowane proste odtwarzające zbrocza funkcji autokorelacji i na tej podstawie określa się położenie maksimum tej funkcji. Metoda ta wymaga mniejszej liczby cykli pomiarowych do estymacji opóźnienia sygnału niż wcześniej opisana, jednakże ich liczba jest dalej znacząca. Metoda taka jest opisana np. w zgłoszeniu patentowym USA nr US2003/0048430A1 (tytuł: „Optical Distance Measurement”). Inny sposób pomiaru odległości, w którym wykorzystuje się sygnał pseudolosowy i właściwości funkcji autokorelacji został przedstawiony w patencie ES2143417 („System for measuring distances by a laser beam modulated with pseudorandom signals”).

Analiza właściwości powszechnie stosowanych metod pomiaru czasu opóźnienia sygnału, a co za tym idzie określenia odległości do badanych obiektów, wskazuje na konieczność stworzenia nowych metod, które umożliwią wykonywanie szybszych i precyzyjniejszych pomiarów odległości.

Znany jest sposób pomiaru odległości, w którym sygnał optyczny lasera oświetlającego mierzony obiekt moduluje się ciągiem pseudolosowym z generatora pseudolosowego, a następnie odbity od mierzonego obiektu sygnał optyczny odbiera się fotodetektorem, po czym sygnał wzmacnia się, a następnie koreluje się w układzie dwóch korelatorów z opóźnionym sygnałem z generatora pseudolosowego.

Znane jest urządzenie do pomiaru odległości, które posiada generator pseudolosowy, korzystnie generator ciągu maksymalnej długości, którego wyjście jest połączone z wejściem modulatora mocy optycznej lasera z którego zmodulowany sygnał świetlny jest skierowany w kierunku obiektu a odbity sygnał trafia do fotodetektora z układem wzmacniacza, którego wyjście jest połączone do pierwszego wejścia pierwszego korelatora i do pierwszego wejścia drugiego korelatora, jednocześnie sygnał z generatora pseudolosowego jest doprowadzony do układu opóźniającego, którego czas opóźnienia zależny jest od zakresu pomiarowego ( $n$ ) i którego wyjście połączone jest z drugim wejściem pierwszego korelatora.

Sposób według wynalazku polega na tym, że dla pierwszego korelatora sygnał z generatora pseudolosowego opóźnia się o czas  $\tau'$  równy całkowitej wielokrotności ( $n$ ) połowy czasu  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego a dla drugiego korelatora sygnał z generatora pseudolosowego opóźnia się dodatkowo o czas  $\tau'$  równy czasowi  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego, po czym wartości z wyjść obu korelatorów przelicza się na odległość do mierzonego obiektu.

Sposób według wynalazku polega na tym, że odejmuje się wynik korelacji z pierwszego korelatora od wyniku korelacji drugiego korelatora i otrzymuje się dzielną, jednocześnie sumuje się wyniki

korelacji z pierwszego i drugiego korelatora i otrzymuje się dzielnik, a następnie dzieli się dzielnik przez dzielnik i otrzymuje się względną różnicę współczynników korelacji.

Sposób według wynalazku polega na tym, że względną różnicę współczynników korelacji mnoży się przez współczynnik korygujący zależny od długości ciągu pseudolosowego i od rzeczywistego nachylenia zboczy funkcji autokorelacji i otrzymuje się skorygowaną względną różnicę współczynników korelacji.

Sposób według wynalazku polega na tym, że skorygowaną względną różnicę współczynników korelacji powiększa się o jeden i o całkowitą wartość ( $n$ ) zależną od zakresu pomiarowego, po czym wynik ten przemnaża się przez jedną czwartą czasu  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego, a następnie odejmuje się połowę całkowitego czasu opóźnienia odpowiadającego zerowej odległości i w wyniku otrzymuje się czas propagacji sygnału optycznego od dalmierza do mierzonego obiektu.

Urządzenie do pomiaru odległości charakteryzuje się tym, że ma układ opóźniający, do którego wejścia doprowadzony jest sygnał z wyjścia układu opóźniającego, a którego wyjście połączone jest z drugim wejściem drugiego korelatora, jednocześnie wyjścia korelatorów połączone są z układem wyliczającym odległość.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym **Fig. 1** przedstawia schemat blokowy urządzenia, **Fig. 2** przedstawia schemat blokowy przepływu sygnału, **Fig. 3** przedstawia znormalizowane sygnały na wyjściach korelatorów przy zmieniającej się odległości do mierzonego obiektu.

Generator pseudolosowy (101) generuje ciąg pseudolosowy, korzystnie  $m$ -ciąg, o długości  $L_{PN}$ . Sygnał pseudolosowy jest sygnałem wejściowym do układu modulatora mocy optycznej lasera (102). Sygnał emitowany z lasera odbija się od mierzonego obiektu (109) i trafia do fotodetektora (103) w układzie odbiorczym dalmierza. Sygnał odebrany jest opóźniony względem nadanego o czas zależny od odległości jaką pokonuje światło. Wzmocniony sygnał jest korelowany w korelatorach (106) i (107) z opóźnionymi w układach (104) i (105) replikami ciągu z generatora (101). Układ (108) wykorzystuje właściwości funkcji autokorelacji oraz wyniki korelacji do wyznaczenia opóźnienia mierzonego sygnału, a co za tym idzie do wyznaczenia odległości do badanego obiektu (109).

Na **Fig. 2** przedstawiono schemat blokowy przepływu sygnału w układzie według wynalazku przedstawionym na **Fig. 1**.

Nadrzędny generator (201) o dużej stałości częstotliwości generuje sygnał częstotliwości  $2F_{PN}$ , która jest następnie dwukrotnie dzielona w układzie (202). Sygnał o częstotliwości  $F_{PN}$  taktuje generator ciągu pseudolosowego (203) o długości  $L_{PN}$  bitów. Czas trwania jednego bitu sekwencji pseudolosowej jest równy  $T_C=1/F_{PN}$ . Sygnał pseudolosowy  $f_0(t)$  z wyjścia generatora (203) jest dodatkowo opóźniany w układzie (205) o stały czas  $\tau_S$ , korzystnie  $\tau_S$  równy  $\frac{1}{4} T_C$  i moduluje sygnał lasera (206). Sygnał z wyjścia lasera (206) jest emitowany w kierunku obiektu mierzonego (207), który odbija światło w kierunku odbiornika (208) składającego się z fotodiody i stopni wzmacniających sygnał elektryczny. Odebrany sygnał jest dalej wzmacniany we wzmacniaczu o zmiennym wzmacnieniu (209), po czym doprowadzony zostaje do wejść dwóch korelatorów (211) i (212). W pierwszym korelatorze (211) odebrany i wzmacniony sygnał jest korelowany z repliką ciągu pseudolosowego  $f_E(t)$  opóźnioną w układzie (204) o czas równy całkowitej wielokrotności ( $n$ ) połowy czasu trwania  $T_C$  jednego bitu sekwencji pseudolosowej. Współczynnik opóźnienia ( $n$ ) zależy od zakresu pomiarowego odległości. Teoretycznie opóźnienie sygnału odniesienia mogłoby się zmieniać ze skokiem  $T_C$ , jednakże ze względu na fakt, że rzeczywisty odebrany sygnał jest pasmowo ograniczony, kształt rzeczywistej funkcji autokorelacji  $m$ -ciągu odbiega od kształtu idealnej funkcji autokorelacji. Zniekształcenie funkcji autokorelacji jest szczególnie widoczne w okolicy maksimum. Z tego względu preferowane jest stosowanie zakresów opóźnienia sygnału odniesienia ze skokiem  $T_C/2$  i taki dobór opóźnienia, żeby wyniki korelacji obydwu korelatorów mieściły się w zakresie od  $\frac{1}{4}$  do  $\frac{3}{4}$  wartości maksimum. Sygnał odniesienia  $f_L(t)$  dla drugiego korelatora (212) jest w stosunku do sygnału odniesienia pierwszego korelatora  $f_E(t)$  dodatkowo opóźniony w układzie (210) o czas równy  $T_C$ . Wyniki korelacji  $L$  i  $E$  z wyjść obu korelatorów są sumowane w układzie (213) oraz odejmowane w układzie (214). Następnie różnica jest dzielona przez sumę w układzie (215) a potem wynik jest korygowany w układzie (216) przez współczynnik zależny od długości ciągu pseudolosowego  $L_{PN}$  oraz nachylenia zboczy rzeczywistej funkcji autokorelacji. Do skorygowanego względnego współczynnika korelacji z wyjścia układu (216) jest dodawana w układzie (218) wartość (217) ( $n$ ) zależna od zakresu pomiarowego i dodatkowo jeden. Dalej wynik jest w układzie (219) przemnażany przez czas  $T_C/4$  i pomniejszany w układzie (220) o (221) zapamiętany czas  $\frac{1}{2}\tau_0$  odpowiadający połowie sumy wszystkich opóźnień w układzie dalmierza przy

pomiarze zerowej odległości. Ostateczny wynik  $\tau_L$  wyraża czas propagacji sygnału od dalmierza do mierzonego obiektu i po wymnożeniu przez prędkość światła w ośrodku daje poszukiwaną odległość.

Na **Fig. 3** przedstawiono znormalizowane sygnały na wyjściach korelatorów przy zmieniającej się odległości do mierzonego obiektu w układzie według wynalazku przedstawionym na **Fig. 1**. Można zauważyć jak przesuwa się maksimum funkcji korelacji wraz ze wzrostem opóźnienia sygnału względem sygnatury korelatora „E”. Tutaj korelator „E” odpowiada zerowemu opóźnieniu, korelator „L” opóźnieniu o czas  $T_C$ . Jeśli sygnał korelowany nie jest opóźniony, wtedy sygnał  $E_1$  na wyjściu korelatora „E” osiąga wartość maksymalną, a sygnał  $L_1$  na wyjściu korelatora „L” przybiera wartość minimalną. Dla opóźnień  $\tau_1$  i  $\tau_2$  większych od zera i mniejszych od  $T_C$  można zauważyć jak poziom sygnału na wyjściu korelatora „E” maleje (odpowiednio  $E_2$  i  $E_3$ ), a na wyjściu korelatora „L” rośnie (odpowiednio  $L_2$  i  $L_3$ ). Jeśli opóźnienie sygnału przekroczy wartość  $T_C$ , wtedy wyznaczenie tego opóźnienia na podstawie wyników korelacji korelatorów „E” i „L” jest niemożliwe. W takiej sytuacji konieczne jest opóźnienie sygnatur  $f_E(t)$  i  $f_L(t)$  obydwu korelatorów o czas będący całkowitą wielokrotnością  $T_C$ . Współczynnik krotności  $n'$  powinien być tak dobrany, żeby rzeczywisty czas opóźnienia  $\tau$  sygnału minus  $n'T_C$  dał resztę mniejszą od  $T_C$ . Wtedy całkowite opóźnienie sygnału jest równe  $n'T_C + \tau_{CH}$ , gdzie  $n'T_C$  określa opóźnienie zgrubnie, a  $\tau_{CH}$  doprecyzowuje wynik w granicach przedziału  $\langle 0; T_C \rangle$ . Dla takiego przypadku zostały przedstawione opóźnienie  $\tau_4$  oraz sygnały wyjściowe korelatorów  $E_4$  i  $L_4$ .

Sposób według wynalazku wymaga zastosowania poniższych zależności w układzie wyliczającym odległość do wyznaczania opóźnienia propagacyjnego oraz odległości do mierzonego obiektu.

Czas propagacji  $\tau_L$  sygnału od obiektu nadawczego do badanego obiektu wynosi:

$$\tau_L = \frac{1}{4} T_C \left[ n + 1 + \frac{1}{a} \frac{(L - E)(L_{PN} - 1)}{(E + L)(L_{PN} + 1)} \right] - \frac{1}{2} \tau_0$$

gdzie  $T_C$  – czas trwania jednego bitu sekwencji pseudolosowej,  $E$  – wynik korelacji pierwszego korelatora,  $L$  – wynik korelacji drugiego korelatora,  $L_{PN}$  – długość ciągu pseudolosowego,  $a$  – współczynnik wyrażający stosunek nachylenia zboczy rzeczywistej funkcji autokorelacji sygnału do nachylenia zboczy idealnej funkcji autokorelacji,  $n$  – zakres pomiarowy,  $\tau_0$  – suma czasów opóźnienia sygnału przy pomiarze zerowej odległości.

Estymacja odległości do badanego obiektu wymaga dodatkowej znajomości szybkości z jaką sygnał przemieszcza się w ośrodku transmisyjnym. W przypadku dalmierzy laserowych tym ośrodkiem jest zazwyczaj powietrze. Prędkość fali elektromagnetycznej w ośrodku zależy od jego współczynnika refrakcji  $n_g$ . W ogólnym przypadku na współczynnik załamania wpływ ma temperatura ośrodka, ciśnienie, długość fali. Uwzględnienie tych wszystkich czynników jest istotne w przypadku dalmierzy wykonujących pomiary na duże odległości, jednakże dla dalmierza, którego zadaniem jest pomiar odległości rzędu maksymalnie kilkudziesięciu metrów można uwzględnić standardowe warunki atmosferyczne oraz możliwe jest pominięcie tłumienia sygnału wynikającego z absorpcji w powietrzu. Odległość do mierzonego obiektu wynosi:

$$L_x = \frac{c}{4n_g F_{PN}} \left[ n + 1 + \frac{(L - E)(L_{PN} - 1)}{(E + L)(L_{PN} + 1)} \right] - \frac{c}{2n_g} \tau_0$$

gdzie  $F_{PN}$  – częstotliwość taktowania generatora ciągu pseudolosowego,  $c$  – prędkość światła w próżni.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru odległości, w którym sygnał optyczny lasera oświetlającego mierzony obiekt moduluje się ciągiem pseudolosowym z generatora pseudolosowego, a następnie odbity od mierzonego obiektu sygnał optyczny odbiera się fotodetektorem, po czym sygnał wzmacnia się, a następnie koreluje się w układzie dwóch korelatorów z opóźnionym sygnałem z generatora pseudolosowego, **znamienny tym**, że dla pierwszego korelatora sygnał z generatora pseudolosowego opóźnia się o czas  $\tau'$  równy całkowitej wielokrotności ( $n$ ) połowy czasu  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego a dla drugiego korelatora sygnał z generatora pseudolosowego opóźnia się dodatkowo o czas  $\tau'$

równy czasowi  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego, po czym wartości z wyjść obu korelatorów przelicza się na odległość do mierzonego obiektu.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że odejmuje się wynik korelacji z pierwszego korelatora od wyniku korelacji drugiego korelatora i otrzymuje się dzielną, jednocześnie sumuje się wyniki korelacji z pierwszego i drugiego korelatora i otrzymuje się dzielnik, a następnie dzieli się dzielną przez dzielnik i otrzymuje się względną różnicę współczynników korelacji.

3. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że względną różnicę współczynników korelacji mnoży się przez współczynnik korygujący zależny od długości ciągu pseudolosowego i od rzeczywistego nachylenia zboczy funkcji autokorelacji i otrzymuje się skorygowaną względną różnicę współczynników korelacji.

4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że skorygowaną względną różnicę współczynników korelacji powiększa się o jeden i o całkowitą wartość ( $n$ ) zależną od zakresu pomiarowego, po czym wynik ten przemnaża się przez jedną czwartą czasu  $T_C$  trwania jednego bitu ciągu pseudolosowego, a następnie odejmuje się połowę całkowitego czasu opóźnienia odpowiadającego zerowej odległości i w wyniku otrzymuje się czas propagacji sygnału optycznego od dalmierza do mierzonego obiektu.

5. Urządzenie do pomiaru odległości, które posiada generator pseudolosowy, korzystnie generator ciągu maksymalnej długości, którego wyjście jest połączone z wejściem modulatora mocy optycznej lasera z którego zmodulowany sygnał świetlny jest skierowany w kierunku obiektu a odbity sygnał trafia do fotodetektora z układem wzmacniacza, którego wyjście jest połączone do pierwszego wejścia pierwszego korelatora i do pierwszego wejścia drugiego korelatora, jednocześnie sygnał z generatora pseudolosowego jest doprowadzony do układu opóźniającego, którego czas opóźnienia zależny jest od zakresu pomiarowego ( $n$ ) i którego wyjście połączone jest z drugim wejściem pierwszego korelatora, **znamiennie tym**, że ma układ opóźniający (105), do którego wejścia doprowadzony jest sygnał z wyjścia układu opóźniającego (104), a którego wyjście połączone jest z drugim wejściem drugiego korelatora (107), jednocześnie wyjścia korelatorów (106) i (107) połączone są z układem wyciszającym odległość (108).

Rysunki

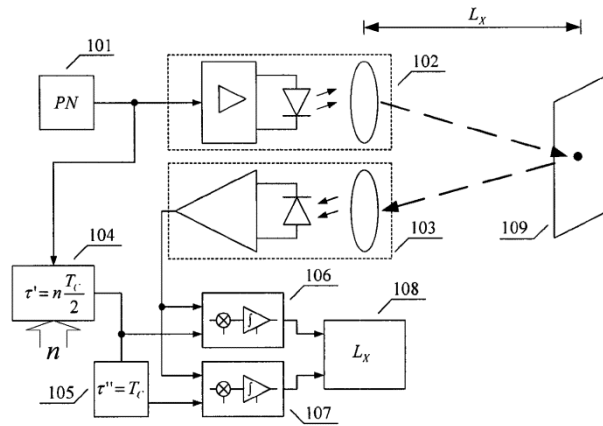


Fig. 1

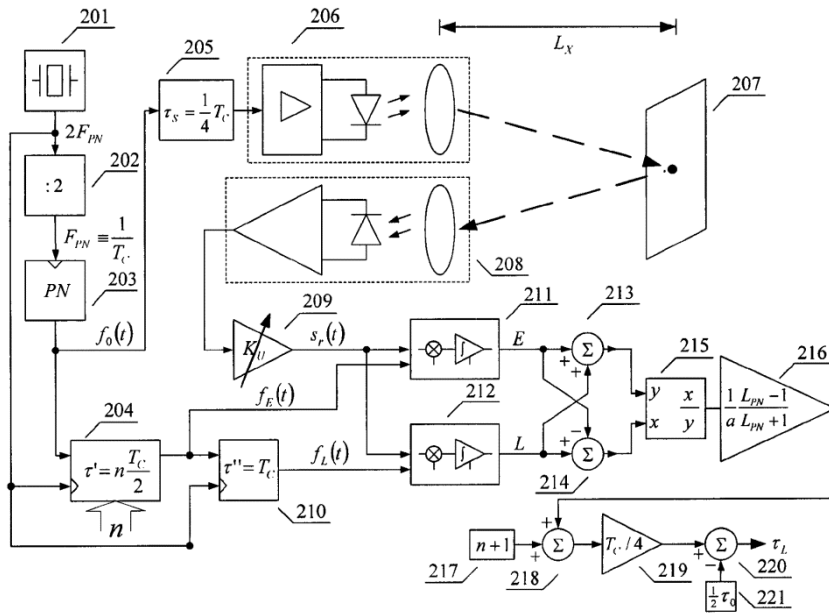


Fig. 2

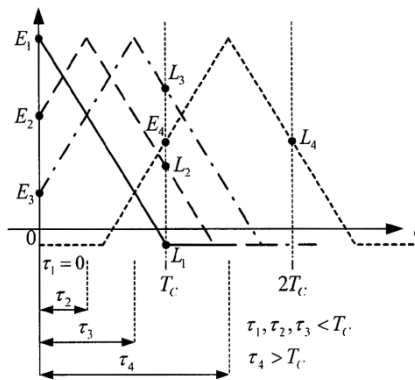


Fig. 3