

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234530**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424983**

(22) Data zgłoszenia: **21.03.2018**

(51) Int.Cl.

**G01S 13/00 (2006.01)**

**G01S 13/34 (2006.01)**

**G01S 13/06 (2006.01)**

**G01S 7/35 (2006.01)**

(54) **Sposób bezprzewodowej transmisji informacji użytkowej przez system radarowy,  
zwłaszcza z wykorzystaniem radarów FMCW oraz radar FMCW**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**23.09.2019 BUP 20/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**31.03.2020 WUP 03/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JACEK STEFAŃSKI, Gdańsk, PL**

**MARIUSZ MISZEWSKI, Gdańsk, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Czesław Popławski**

**PL 234530 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób bezprzewodowej transmisji informacji użytkowej przez system radarowy, zwłaszcza z wykorzystaniem radarów, FMCW oraz radar FMCW,

Wynalazki te przeznaczone są do transmisji informacji użytkowej pomiędzy radarami z falą ciągłą FMCW *Frequency Modulated Continuous Wave* z zachowaniem podstawowych funkcji w odniesieniu do wykrywanego obiektu, czyli określania kierunku, odległości oraz prędkości tego obiektu, z wykorzystaniem radarowego sygnału sondującego.

Znany jest sposób organizacji transparentnej komunikacji bezprzewodowej w radarach impulsowych US 2007/0139253 A1, w którym wykorzystuje się do przesyłania informacji użytkowych położenie impulsów sygnałów radarowych na osi czasu.

Nie są znane sposoby i urządzenia do transmisji bezprzewodowej pomiędzy radarami z wykorzystaniem fali ciągłej FMGW.

Sondujący sygnał radarowy nadawany, przez radar FMCW wyraża, się zależnością:

$$s_t(t) = A_t \cos(2\pi f_t(t)t) = A_t \cos(2\pi(f_0 + kt)t) = A_t \cos(2\pi f_0 t + 2\pi kt^2) \quad (1)$$

gdzie:

$A_t$  – ustalona amplituda sondującego sygnału radarowego

$f_0$  – ustalona częstotliwość początkowa sondującego sygnału radarowego,

$f_t$  – częstotliwość chwilowa sondującego sygnału radarowego

$t$  – czas trwania transmisji sondujących sygnałów radarowych

$k$  – współczynnik określony zależnością:

$$k = \frac{2B}{T_p},$$

gdzie:

$B$  – oznacza ustaloną szerokość pasma sondującego sygnału radarowego.

$T_p$  – oznacza czas trwania segmentu sondującego sygnału radarowego

Istota wynalazku sprowadza się do przekazywania informacji użytkowych zapisanych w systemie binarnym pomiędzy radarami FMCW, poprzez zadawanie/niezadawanie zmiany fazy sondującego sygnału radarowego dla każdego segmentu  $T_p$  nadawanego sondującego sygnału radarowego według zależności (2).

W wykonaniu tej istoty do radarowego sygnału sondującego wprowadza się dodatkowy składnik  $\theta_i$  reprezentujący zmienną fazę radarowego sygnału sondującego, wraz z zadaną sekwencją, bitów informacyjnych, które odpowiadają przesyłanej informacji użytkowej.

Sondujący sygnał radarowy z zapisaną informacją użytkową nadawany przez radar FMCW wyrażony jest wówczas zależnością:

$$s_t(t) = A_t \cos(2\pi f_t(t)t + \theta_i) = A_t \cos(2\pi(f_0 + kt)t + \theta_i) = A_t \cos(2\pi f_0 t + 2\pi kt^2 + \theta_i) \quad (2)$$

gdzie:

$$\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{M}, \quad i=1, 2, \dots, M$$

$M = 2^n, n = 1, 2, \dots,$

gdzie:

$\theta_i$  – ustalona faza początkowa sondującego sygnału radarowego

$M$  – ustalona liczba faz sondującego sygnału radarowego.

Informacje użytkowe zapisuje się na styku kolejnych segmentów sondującego sygnału radarowego przy pomocy cyfrowego syntetyzera zmiany fazy  $\theta_i$  sondującego sygnału radarowego.

Następnie tak przekształcony sondujący sygnał radarowy, zawierający binarną informację użytkową proporcjonalną do liczby  $k$  segmentów  $T_p$ , przesyła się do innych odbiorców w czasie  $kT_p$ .

Radar FMCW do bezprzewodowej transmisji informacji użytkowej, zawierający sprzęgacz kierunkowy, który jest połączony poprzez cyrkulator z anteną, który ponadto połączony jest z mieszaczem, który jest połączony z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów charakteryzuje się według wynalazku tym, że zawiera cyfrowy syntetyzer zmieniający fazę sondującego sygnału radarowego odpowiednio do informacji użytkowej, przy czym syntetyzer połączony jest z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz sprzęgaczem kierunkowym.

Jeżeli przykładowo przy założeniu, że liczba faz  $M = 2$ , dla  $n = 1$ , to w czasie  $k \cdot T_p$  można przesłać  $k$  bitów danych, gdyż w tym przypadku każda zmiana fazy lub brak zmiany fazy odpowiada; pojedynczemu bitowi danych „zeru” logicznemu lub „jedyńce” logicznej.

Wykorzystanie wynalazku umożliwia zwiększenie funkcjonalności radarów FMCW poprzez wykorzystanie sygnałów sondujących do transmisji informacji użytkowej przy jednoczesnym zachowaniu zdolności wykrywania obiektów będących w ruchu lub w spoczynku, czyli określania kierunku, odległości oraz prędkości tego obiektu.

Wynalazek objaśniony jest bliżej w przykładzie wykonania i na rysunku, na którym na fig. 1a przedstawiono wykres sondującego sygnału radarowego, na fig. 1b zmianę fazy sondującego sygnału radarowego, na fig. 1c pokazano postać binarną przekształconego sondującego sygnału radarowego z zakodowaną informacją użytkową, na fig. 2a radar FMCW nadający informację użytkową, na fig. 2b radar FMCW odbierający informację użytkową, na fig. 3 schemat blokowy przekazywania informacji użytkowej w systemie radarowym, na fig. 4 nadawanie i odbiór informacji użytkowych pochodzących z różnych źródeł, fig. 5 wykorzystanie wynalazku do obserwacji ruchu drogowego, fig. 6 wykorzystanie wynalazku do nadzoru ruchu na magistrali kolejowej.

#### P r z y k ł a d 1

##### A. Nadawanie informacji użytkowej:

Informację użytkową IU zapisuje się w nadawanym sondującym, sygnale radarowym pokazanym na fig. 1a, na którym zaznaczono segment sondującego sygnału radarowego o czasie trwania  $T_p$ , oraz czas trwania  $k$  segmentów  $k \cdot T_p$ .

W celu nadania informacji użytkowej wykorzystuje się radar FMCW RA1 przedstawiony na fig. 2a. Radar RA1 zawiera sprzęgacz kierunkowy SPK1, który jest połączony poprzez cyrkulator CIR1 z anteną ANT1, a ponadto połączony jest z mieszaczem MIX1. Mieszacz MIX1 jest połączony z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów CPS1, a cyfrowy syntetyzer DDS1 zmieniający fazę sondującego sygnału radarowego, odpowiednio do informacji użytkowej, połączony jest z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów, CPS1 oraz sprzęgaczem kierunkowym SPK1.

Do przesyłania informacji użytkowych ustala się:

$A_t$  amplitudę sondującego sygnału radarowego,

$f_t$  częstotliwość chwilową sondującego sygnału radarowego,

$t$  czas trwania transmisji sondujących sygnałów, radarowych.

$f_0$  częstotliwość początkową sondującego sygnału radarowego,

$B$  szerokość pasma sondującego sygnału radarowego oraz

$M$  liczbę faz sondującego, sygnału radarowego, w tym przypadku wynoszącą 2.

Przekształcony sondujący sygnał radarowy pokazano na fig. 1b, w którym nastąpiła zmiana fazy na styku segmentów  $T_p$  w punkcie P. Na fig. 1c, pokazano postać binarną przekształconego sondującego sygnału radarowego z zakodowaną informacją użytkową.

Przekształcony sondujący sygnał radarowy Sp1 zawierający informacje użytkową w postaci binarnej 110..... 1, jest nadawany do radaru RA2 najbliższego w systemie radarowym.

##### B. Odbiór informacji użytkowej:

Jak pokazano, na fig. 2b radar RA2 zawiera sprzęgacz kierunkowy SPK2, który jest połączony poprzez cyrkulator CIR2 z anteną ANT2, a ponadto połączony jest z mieszaczem MIX2, który jest połączony z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów CPS2. Cyfrowy syntetyzer DDS2 zmieniający fazę sondującego sygnału radarowego połączony jest z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów CPS2 oraz sprzęgaczem kierunkowym SPK2.

Informację użytkową IU zawartą w sondującym sygnale radarowym Sp1 odbiera się przez radar RA2 i przesyła się do systemu komputerowego K, w którym odczytuje się tą informację użytkową IU.

##### C. Pośredniczenie w przekazywaniu informacji użytkowej.

Jak pokazano na fig. 3 z radaru RA1 jest nadawany przekształcony sondujący sygnał radarowy Sp1, według sposobu przedstawionego w punkcie A.

Przekształcony sondujący sygnał radarowy Sp1 odbiera się w radarze RA2 według sposobu przedstawionego w pkt B, po czym radar RA2 nadaje przekształcony sondujący sygnał radarowy Sp1, jak w pkt A, zaś w radarze RA3 odbiera się przekształcony sondujący sygnał radarowy Sp1, tak jak w punkcie B.

##### D. Nadawanie i odbiór informacji użytkowych pochodzących z różnych źródeł.

Jak pokazano na fig. 4 informacja użytkowa IU3 pochodzi z zewnętrznego systemu komputerowego K1 podłączonego do radaru RA1, informacja użytkowa IU2 pochodzi z wewnętrznego systemu

komputerowego radaru RA1, zaś informacja użytkowa IU1 pochodzi z odbitego od obserwowanego obiektu LOB1 sondującego sygnału radarowego Sp1.

Przy pomocy cyfrowego syntetyzera DDS1 zmienia się fazę sondującego sygnału radarowego Sp1 radaru RA1 sterowanego blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów CPS1, który w oparciu o informacje użytkowe IU1, IU2, IU3 pochodzące z wielu źródeł, po czym realizuje się transmisję przetworzonego sondującego sygnału radarowego Sp1 – w sposób przedstawiony w przykładzie 1A, natomiast w radarze RA2 przy pomocy cyfrowego syntetyzera DDS2 zmienia się fazę sondującego sygnału radarowego Sp1 radaru RA2 sterowanego blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów CPS2, który w oparciu o informacje użytkowe IU1, IU2, IU3 pochodzące z wielu źródeł realizuje odbiór przetworzonego sondującego sygnału radarowego przez komputer K2 w sposób przedstawiony w przykładzie 1B.

**P r z y k ł a d 2.** Obserwacja poruszającego się pojazdu

Jak pokazano na fig. 5 do obserwacji poruszającego się pojazdu LOB1 wykorzystuje się radar RA1. Z radaru RA1 wysyła się sondujący sygnał radarowy Sp1 w kierunku poruszającego się pojazdu LOB1 oraz w kierunku radaru RA2.

Odbity od pojazdu LOB1 sondujący sygnał radarowy Sp1 powracający do, pierwszego radaru RA1, po przetworzeniu zawiera informację użytkową IU o prędkości i kierunku jazdy pojazdu LOB1, które przesyła się i odbiera do komputera K, w sposób opisany w przykładzie 1A, 1B.

**P r z y k ł a d 3.** Nadzór nad kolejową magistralą

Jak pokazano na fig. 6 dokonuje się obserwacji pierwszego pociągu LOP1 będącego na szlaku kolejowym, przy pomocy pierwszego radaru RA1 i uzyskaną informację użytkową IU1 przekazuje się dalej jak w przykładzie 1.

Obserwuje się drugi pociąg LOP2 przy pomocy drugiego radaru RA2 i uzyskaną informację użytkową IU2 przekazuje się dalej jak przedstawiono w przykładzie 1. Przy czym informację IU2 przekazuje się łącznie z uzyskaną informacją użytkową IU1 do radaru RA3 w przekształconym sondującym sygnale radarowym Sp2. Informację użytkową IU1 oraz informację użytkową IU2 przekazuje się do systemu komputerowego K połączonego z RA3, który prowadzi nadzór ruchu na magistrali kolejowej.

## Zastrzeżenia patentowe

1. *Sposób bezprzewodowej transmisji informacji użytkowej przez system radarowy, zwłaszcza z wykorzystaniem radarów FMCW, polegający na wykorzystaniu radarowych sygnałów sondujących określonych zależnością*

$$s_i(t) = A_t \cos(2\pi f_i(t)t) = A_t \cos(2\pi(f_0 + kt)t) = A_t \cos(2\pi f_0 t + 2\pi kt^2)$$

gdzie:

$A_t$ , ustalona amplituda sondującego sygnału radarowego

$f_t$  częstotliwość chwilowa sondującego sygnału radarowego

$t$  czas trwania sondującego sygnału radarowego

$f_0$  reprezentuje ustaloną częstotliwość początkową sondującego sygnału radarowego,

$k$  współczynnik określony zależnością  $k = \frac{2B}{T_p}$ ,

gdzie:

$B$  oznacza ustaloną szerokość pasma sondującego sygnału radarowego,

$T_p$  oznacza czas trwania segmentu sondującego sygnału radarowego,

do nadawania informacji użytkowych przez radar, **znamienny tym**, że informacje użytkowe zapisuje się w ten sposób, że na styku kolejnych segmentów ( $T_p$ ) sondującego sygnału radarowego dokonuje się przy pomocy cyfrowego syntetyzera (DDS) zmiany fazy ( $\theta_i$ ) przekształconego sondującego sygnału radarowego spełniającego zależność:

$$s_i(t) = A_t \cos(2\pi f_i(t)t + \theta_i) = A_t \cos(2\pi(f_0 + kt)t + \theta_i) = A_t \cos(2\pi f_0 t + 2\pi kt^2 + \theta_i)$$

$\theta_i$  to, ustalona faza początkowa sondującego sygnału radarowego określona

zależnością  $\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{M}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$

przy czym  $M$  to ustalona liczba faz sondującego sygnału radarowego określona zależnością  $M = 2^n$ ,  $n = 1, 2$  ;

- po czym tak przekształcony sondujący sygnał radarowy zawierający binarną informację użytkową proporcjonalną do ilości  $k$  segmentów  $T_p$ , przesyła się do innych odbiorców w czasie  $kT_p$ .
2. Radar FMCW do bezprzewodowej transmisji informacji użytkowej, zawierający sprzęgacz kierunkowy (SPK), który jest połączony poprzez cyrkulator (CIR) z anteną (ANT), a ponadto połączony jest z mieszaczem (MIX), który jest połączony z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów (CPS), **znamienny tym**, że zawiera cyfrowy syntetyzer (DDS) zmieniający fazę sondującego sygnału radarowego który połączony jest z blokiem cyfrowego przetwarzania sygnałów (GPS) oraz sprzęgaczem kierunkowym (SPK).

## Rysunki

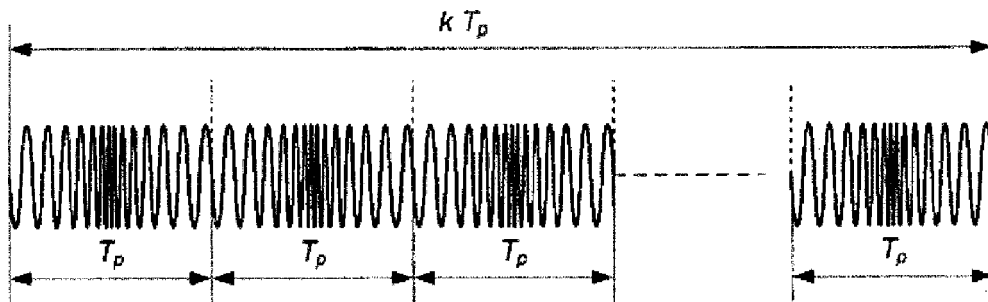


Fig. 1a

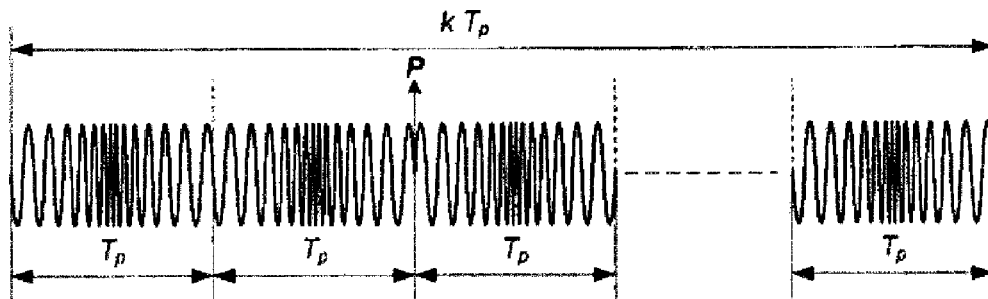


Fig. 1b

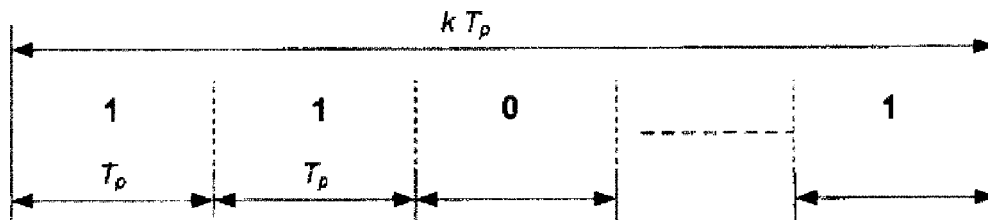


Fig. 1c

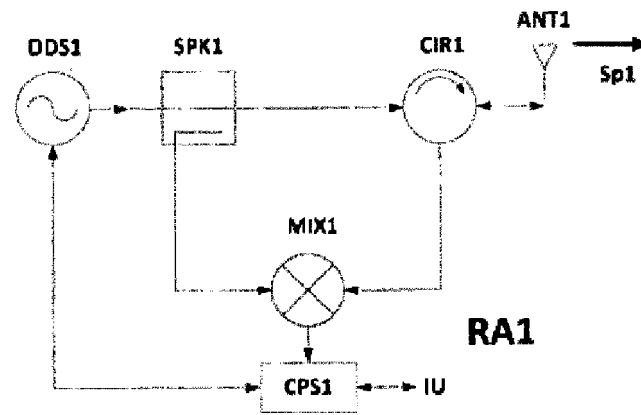


Fig. 2a

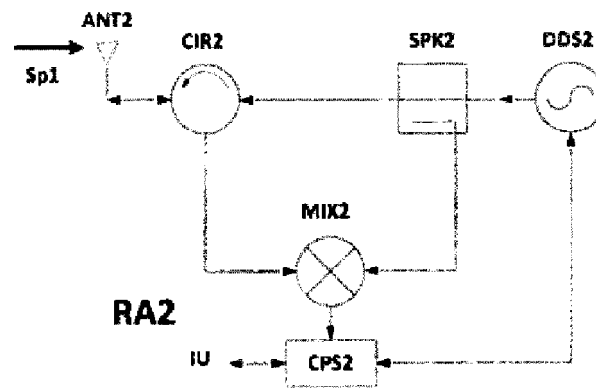


Fig. 2b

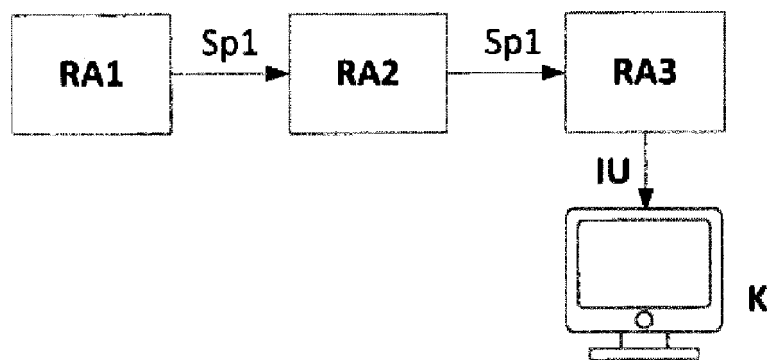


Fig. 3

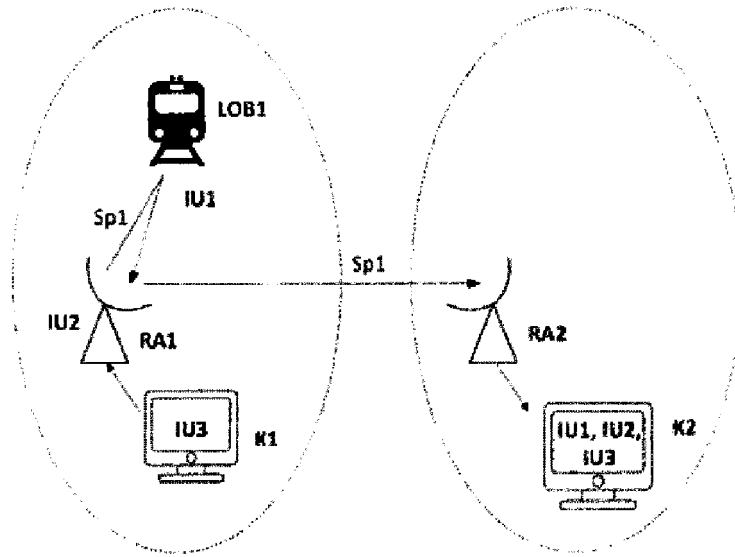


Fig. 4

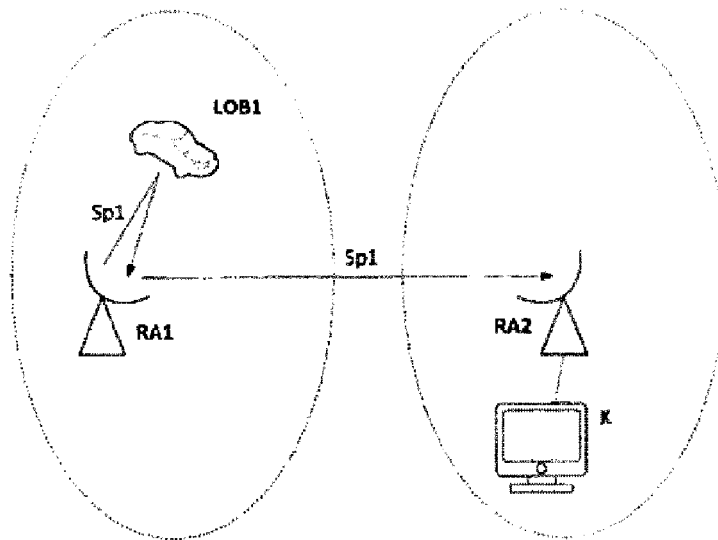


Fig. 5

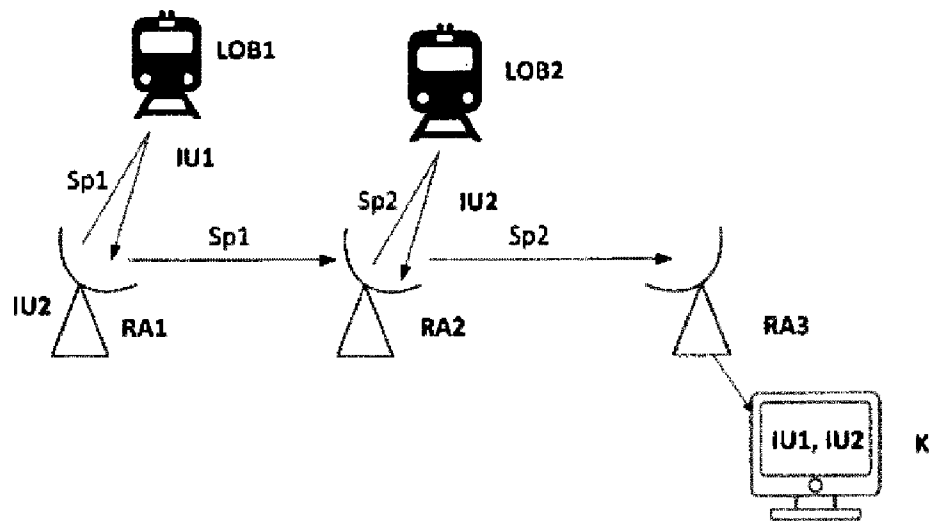


Fig. 6