

ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ, РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ

УДК 621.396.62:621.396.96

АНАЛІЗ НАВІГАЦІЙНОГО С/А - КОДУ СИСТЕМИ GPS

Мрачковський О.Д., к.т.н., доцент,

Часник А.А., аспірант

*Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Вступ

Кожний навігаційний штучний супутник Землі (НШСЗ) системи GPS випромінює два види навігаційних сигналів. По першому каналу (L1, носійна частота $f_0=1576.42$ МГц) випромінюється сигнал фазоманіпульований (ФМн) так званим С/А - кодом (С/А - coarse/acquisition, або clear/acquisition), який є сумою по модулю два, двох М-последовностей. В системі GPS застосовується двопозиційна фазова маніпуляція із значеннями позицій рівними $\pm \pi/2$ на цій же частоті випромінюється сигнал ФМн Р-кодом (Р - precision code), спектральні і кореляційні властивості якого будуть розглянуті в наступній роботі.

Генерація С/А - коду

С/А – код є 1023 символним кодом Голда $G_i(t)$ (де i - номер НШСЗ), унікальним для кожного НШСЗ. В свою чергу, кожний $G_i(t)$ код Голда є сумою за модулем два двох твірних последовностей G_1 та G_{2i} . Твірні последовності G_1 та G_{2i} генеруються на базі двох 10-бітних регістрах зсуву, генеруючі поліноми яких наведені нижче:[1]

$$G_1: X^{10}+X^3+1$$

$$G_2: X^{10}+X^9+X^8+X^6+X^3+X^2+1$$

Обидва регістри ініціалізуються значенням 111111111. Для генерації різних сигналів G_{2i} , використовується сума по модулю два, последовностей з двох відведень регістру (див. рис.1), але тільки деякі комбінації відведень дозволяють отримати вірний С/А – код. Можливі комбінації відведень зведено до таблиці 1.

Таблиця 1

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Комбінація	2⊕6	3⊕7	4⊕8	5⊕9	1⊕9	2⊕10	1⊕8	2⊕9	3⊕10	2⊕3

№ з/п	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Комбінація	3⊕4	5⊕6	6⊕7	7⊕8	8⊕9	9⊕10	1⊕4	2⊕5	3⊕6

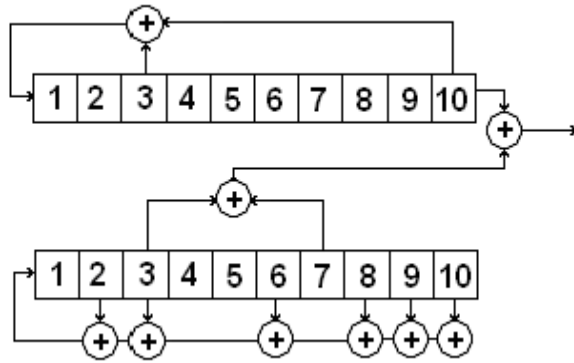


Рис.1 Генератор G1 та генератор G2i
варіант №2 (табл. 1)

Спектральні властивості С/А кода

Спектр сигналу модульованого С/А – кодом визначається шляхом обчислення перетворення Фур'є.

$$s(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t) e^{-i\omega t} dt$$

де $U(t)$ – сигнал, що аналізується.

На рис 2. наведено амплітудний та фазовий спектр С/А-кода

отриманий в програмному пакеті Matlab за допомогою алгоритму FFT (FFT- Fast Fourier Transform) [2], з використанням процедури корекції стрибків фази на 2π . Параметри $N=1023$, $T_i=1$ мс, де T_i – довжина парціального імпульсу, N – кількість імпульсів у послідовності.

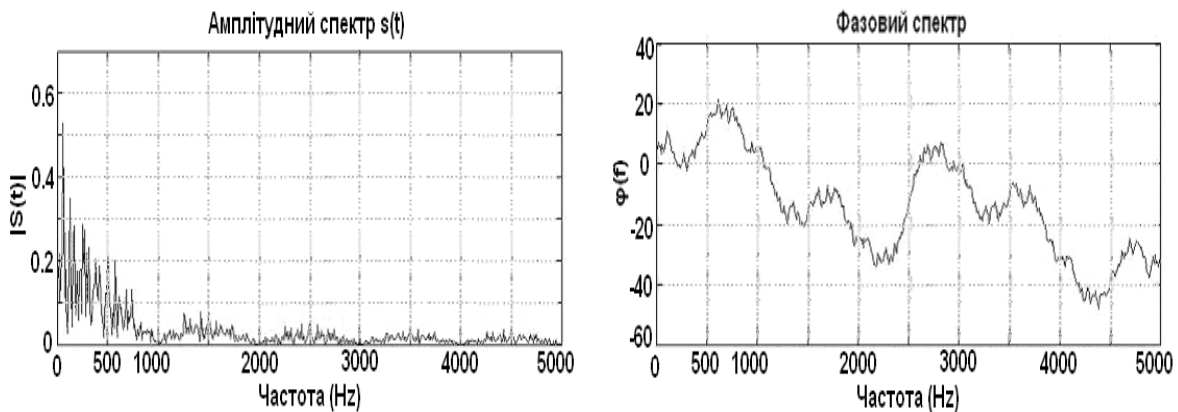


Рис.2 . Спектр С/А-коду довжиною 1023 імпульси

Полоса частот цієї послідовності може бути з достатньою точністю визначений за формулою:

$$2\Delta f = [f_0 + 1/\tau_0] - [f_0 - 1/\tau_0] = 2/\tau_0, \quad (1)$$

где τ_0 – тривалість парціального імпульсу.

Як видно з виразу (1) полоса частот, що займає С/А-код залежить лише від довжини парціального імпульсу, та не залежить від їх кількості. Це означає, що змінюючи кількість імпульсів в коді можна, довільним чином, змінити базу сигналу. Також можна стверджувати, що полоса цієї послідовності повністю відповідає полосі частот що займає послідовність Голда, довжиною 1023 імпульси.

Кореляційні властивості сигналів фазоманіпульованих С/А –кодом

Як відомо періодична взаємно кореляційна функція (ВКФ) сигналу фазоманіпульованого (ФМн) послідовністю Голда має тільки три можливих рівня:

$$Q(\lambda) = \begin{cases} Q_1 = -1/N \\ Q_2 = \sqrt{2/N} - 1/N \\ Q_3 = -\sqrt{2/N} - 1/N \end{cases} \quad (2)$$

Для сигналу ФМн послідовністю Года, довжиною 1023 імпульси складають:

$$Q(1023)_1 = -9.78 \cdot 10^{-4}; \quad Q(1023)_2 = 0.0432; \quad Q(1023)_3 = -0.0452$$

Але наявність змін в алгоритмі формування унікальної послідовності G2i вимагають перевірки того, що періодична ВКФ сигналу ФМн С/А – кодом є тривірневими. В програмному пакеті Matlab було розраховано періодичну ВКФ (рис.3) такого сигналу (відведення №2 за таблицею 1), а також визначено рівні бічних сплесків.

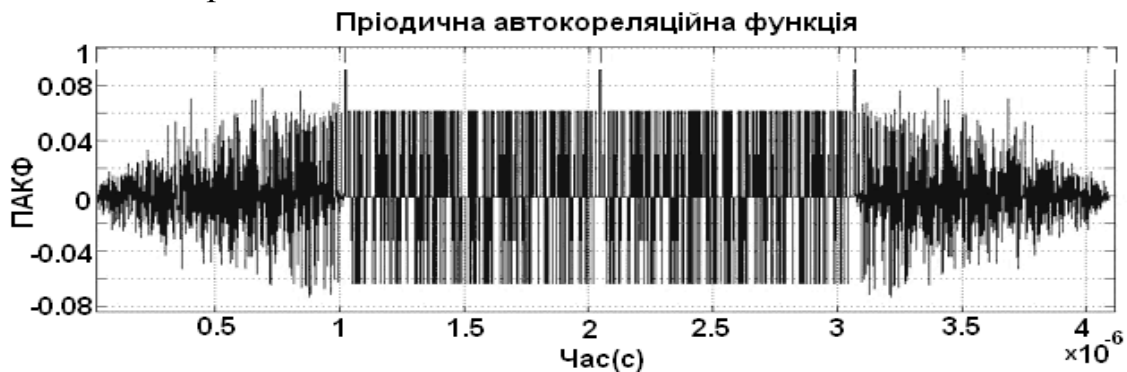


Рис.3. Періодична ВКФ сигналу ФМн С/А - кодом

Як видно з рисунку, періодична ВКФ дійсно є тривірневою, і приймає значення: 0.062; $-9.78 \cdot 10^{-4}$; 0.064. Отримані результати досить близькі до обчислених теоретично, що дозволяє про схожість сигналів ФМн С/А – кодом та сигналів ФМн послідовністю Голда.

Аперіодична автокореляційна функція (АКФ) сигналу ФМн С/А – кодом також була розрахована в програмному пакеті Matlab, з використанням вбудованої функції xcorr, сигнали було отримано за допомогою функції modulate. Параметри сигналу $f_0=1,575$ ГГц, $N=1023$, $T_i=1$ мкс, де T_i – довжина парціального імпульса, N – кількість імпульсів у послідовності.

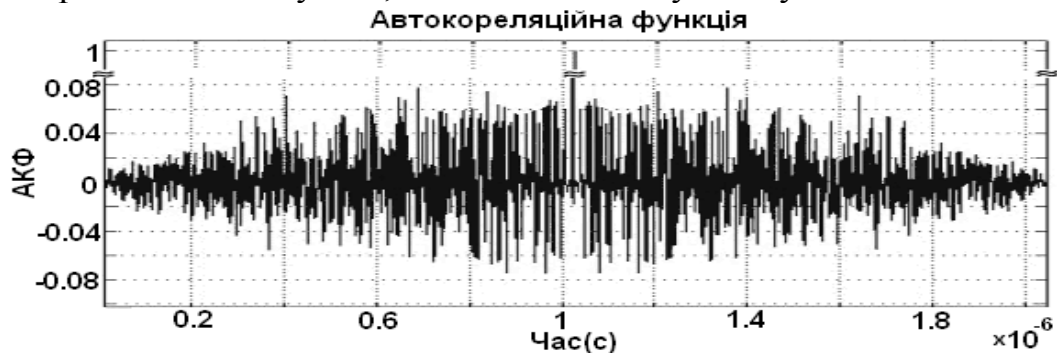


Рис.4 Аперіодична АКФ сигналу ФМн С/А – кодом.

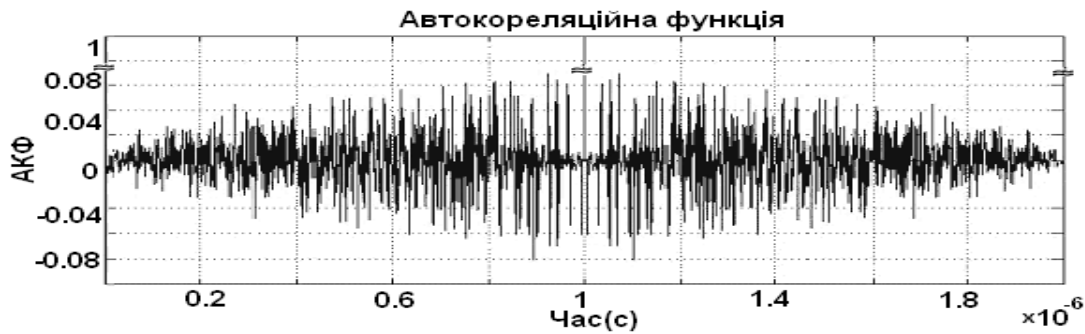


Рис.5 Аперіодична АКФ сигналу ФМн послідовністю Голда

Максимальний рівень бічних викидів аперіодичної АКФ сигналу ФМн С/А – кодом складає 0,0782, що складає 0,69 дБ від максимального значення бічних викидів аперіодичної АКФ сигналу ФМн послідовністю Голда.

На рис. 6-8 наведені аперіодичні ВКФ сигналів ФМн С/А – кодом, з параметрами $f_0=1,575$ ГГц, $N=1023$, $T_i=1$ мкс, для яких рівень кореляції падає на -1, -3, -6 дБ відповідно.

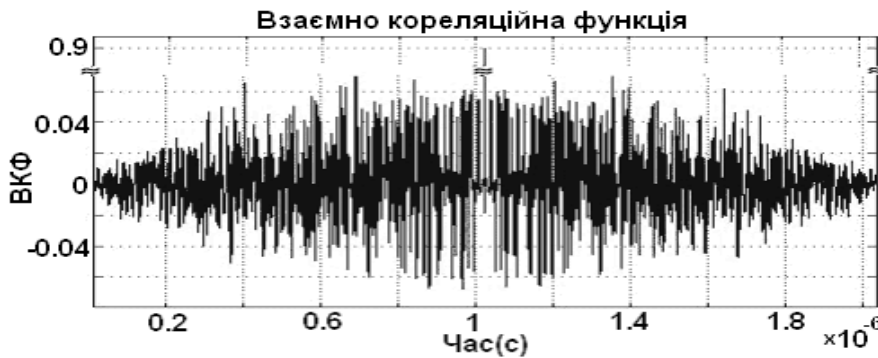


Рис.6 Аперіодична АКФ сигналу ФМн С/А – кодом, на рівні -1дБ, швидкість $0,5 \cdot 10^7$ м/с

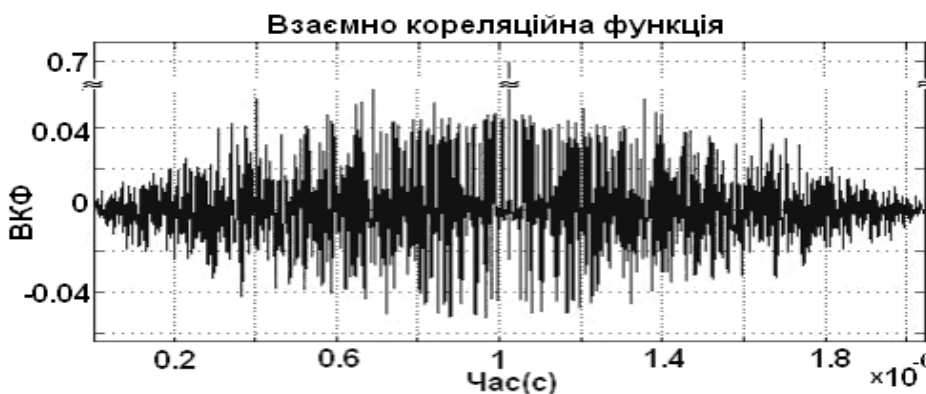


Рис.7 Аперіодична АКФ сигналу ФМн С/А – кодом, на рівні -3дБ, швидкість $0,75 \cdot 10^7$ м/с

Як видно при зміні рівня ВКФ, рівні бічних викидів спадають 0,064(-1 дБ) 0,045 (-6 дБ), що характерно для сигналів ФМн послідовностями Голда.[3]

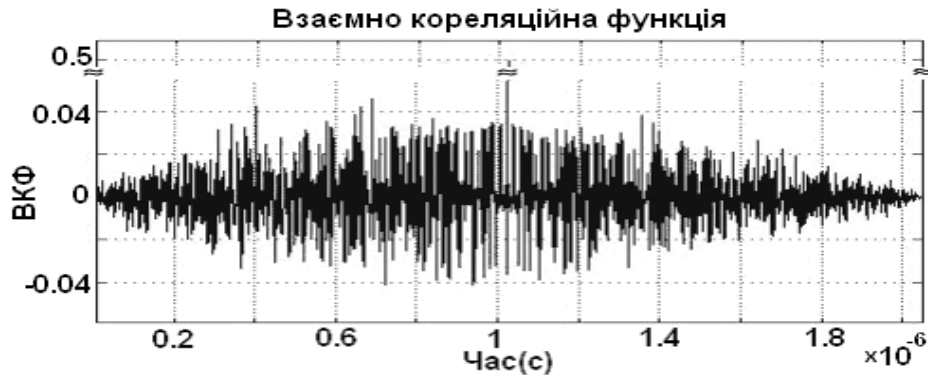


Рис.8 Аперіодична АКФ сигналу ФМн С/А – кодом, на рівні -6 дБ, швидкість $1 \cdot 10^7$ м/с

Функція невизначеності

Функція невизначеності аналітично записується як [4]

$$R(\mu\tau_0, \Omega) = \frac{R_0(\Omega)}{N} \sum_{n_1}^{n_2} a_n a_{n-\mu}^* \exp(i(n-1)\Omega\tau_0)$$

де a_n – символи послідовності, $\mu = \tau/\tau_0$, $R_0(\Omega)$ – функція невизначеності одиночного прямокутного імпульсу, яка залежить тільки від двох параметрів частоти Ω і тривалості τ_0 . [4]

$$R_0(\Omega) = \left(\frac{\sin(0.5\Omega\tau_0)}{0.5\Omega\tau_0} \right) \exp(i \cdot 0.5\Omega\tau_0)$$

межі підсумовування визначаються наступною рівністю:

$$n_1 = \mu + 1, n_2 = N \text{ при } \mu > 0; \quad n_1 = 1, n_2 = N - |\mu| \text{ при } \mu < 0;$$

Виходячи з обмеженості об'єму тіла невизначеності довільного сигналу, середньоквадратичне значення ФН рівне $1/N$. На рис.9 приведена ФН сигналу ФМн С/А - кодом з параметрами $f_0=1,575$ ГГц, $N=1023$, $T_i=1$ мкс.

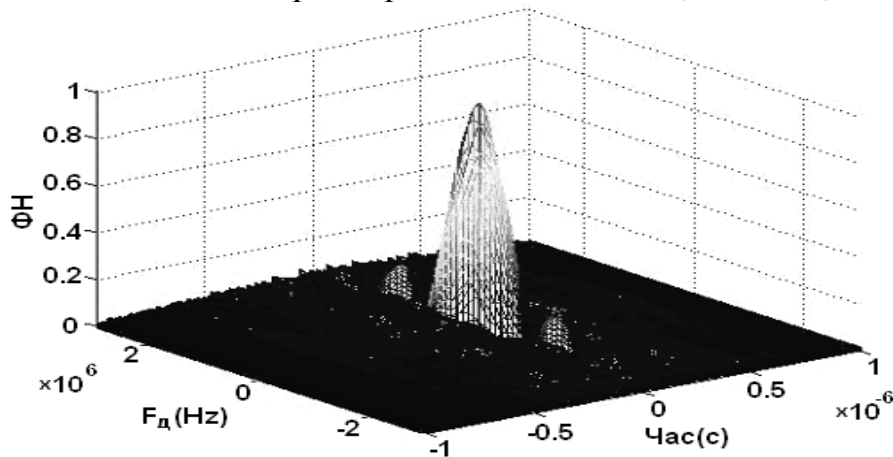


Рис.9 Функція невизначеності сигналу ФМн С/А – кодом

В табл. 2 зазначено коефіцієнт перерахунку роздільної здатності до теоретичного значення роздільної здатності М-послідовності[3]:

$$\Delta\Omega = \frac{1}{\tau_0} = 9.78 \cdot 10^5 \quad \Delta\tau = \frac{1}{2\Delta f} = 2 \cdot 10^{-6},$$

де $2\Delta f = [f_0 + 1/\tau_0] - [f_0 - 1/\tau_0] = 2/\tau_0$, τ_0 – довжина парціального імпульсу

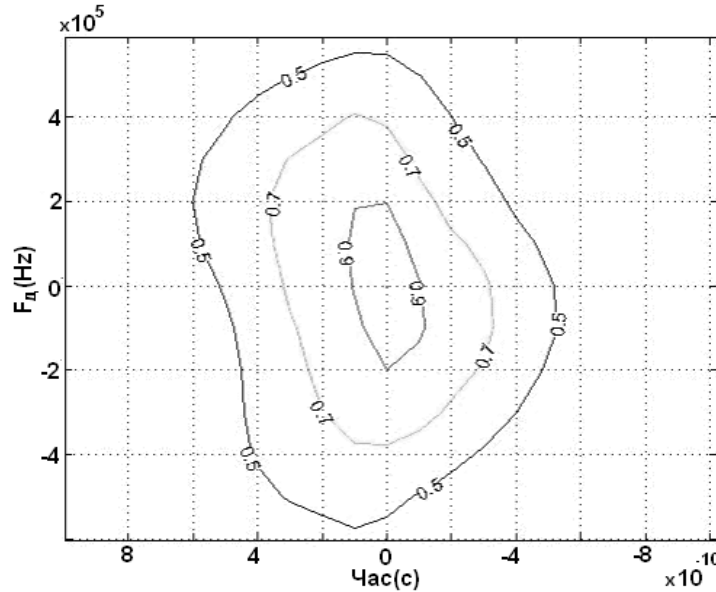


Рис.10 Ізокореляти в області сильної кореляції

Таблиця 2

Параметр / Рівень	0,9	0,707	0,5
$\Delta\tau$	0.00013	0.00035	0.00056
$\Delta\Omega$	0,41	0,82	1,16

Нижче приведені ізокореляти в області слабкої кореляції.

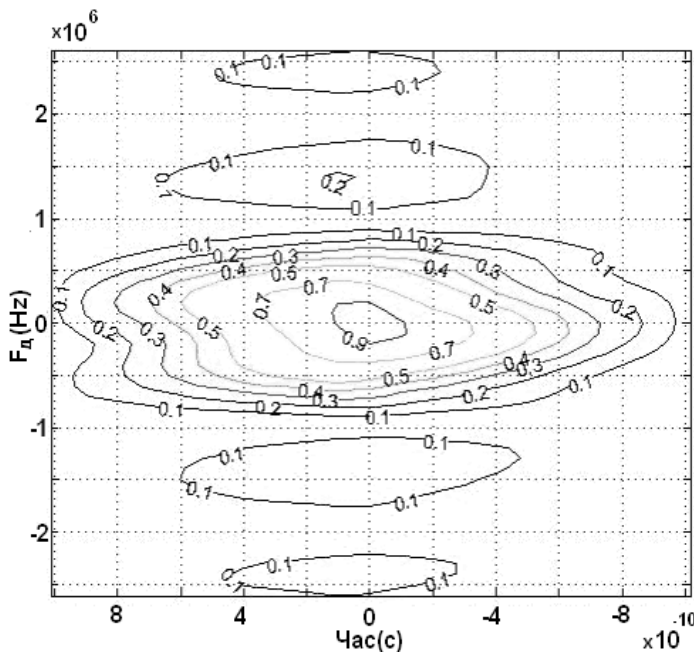


Рис.11 Ізокореляти в області слабкої кореляції

Висновки

Дослідження С/А – коду показали, що він максимально близький (за рівнем бічних викидів та потенційною роздільною здатністю за $\Delta\tau$ і $\Delta\Omega$) до коду Голда. Потенційна роздільна здатність С/А-коду повністю співпадає з кодом Голда. А РБВ складає 0,789 від РБВ. Спектральні характеристики мають аналогічні за виглядом та властивостями. Тобто можна зазначити, внесення змін в схему формування не вплинуло на характеристики

сигналу, проте дозволило сформувати унікальний сигнал для кожного ШНСЗ, без значного збільшення затрат апаратних ресурсів.

Література

1. INTERFACE SPECIFICATION, IS-GPS-200, Revision D, IRN-200D-001 ,DRAFT Redline Version March 2006 Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces.
2. Holly Moore. MATLAB for Engineers (2nd Edition)
3. Мрачковський О.Д., Часник А.А., Реутська Ю.Ю. Дослідження сигналу фазоманіпульованного послідовністю Голда. Вісник НТУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2011.– №46.– С. 65–71
4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1978 – 304 с.

Мрачковський О.Д., Часник А.А. Аналіз навігаційного C/A – коду системи GPS. У статті докладно розглянуто процес формування C / A - коду (C / A - coarse / acquisition, або clear / acquisition), що застосовується в системі глобального позиціонування GPS. Детально досліджено автокореляційною і взаємкореляційною функції цього коду, в порівнянні з M-послідовністю і послідовністю Голда. Була розрахована функція невизначеності та її перетин на різних рівнях в області сильної і слабкої кореляції, а також були обчислені потенційні роздільні здатності даного коду. У статті були розраховані амплітудний та фазовий спектри сигналу та його смуга частот.

Ключові слова: S/A – код, формування, АКФ, ВКФ, функція невизначеності, ізокореляти, роздільна здатність.

Мрачковский О.Д., Часнык А.А. Анализ навигационного C/A – кода системы GPS.

В статье подробно рассмотрен процесс формирования C/A – кода (C/A - coarse/acquisition, или clear/acquisition), применяющегося в системе глобального позиционирования GPS. Детально исследованы автокорреляционные и взаимокорреляционные функции этого кода, в сравнении с M-последовательностью и последовательностью Голда. Была рассчитана функция неопределенности и ее сечения на различных уровнях в области сильной и слабой корреляции, а также были вычислены потенциальные разрешающие способности данного кода. В статье были рассчитаны амплитудный и фазовый спектр сигнала и его полоса частот.

Ключевые слова: S/A – код, формирование, АКФ, ВКФ, функция неопределенности, изокореляты, разрешающая способность.

O. Mrachkovkiy A. Chasnyk Analysis of navigation C/A - Code of GPS system This article the formation of S/A - Code detail its ACF and CCF, in comparison with the max length sequence and Gold-sequence. Shows the ambiguity function and its sections at different levels. Also calculated the potential resolutions for the S/A - package. The article shows the formation of C/A - Code (C/A - coarse/acquisition, or clear/ acquisition), which used for Global Positioning System. Detaily investigated by the autocorrelation and cross-correlation function of the code, in comparison with the max length sequence and Gold's sequence. Ambiguity function and its sections at different levels were calculated in the strong and weak correlation, and the potential resolutions for the given code was calculate. In this paper, we calculated the amplitude and phase spectrum of the signal and its bandwidth.

Keywords: C/A - code, ACF, CCF, a ambiguity function, isocorrelation, resolution ability.