

УДК 621.396

С.В. Козелков, К.С. Козелкова

ДП "Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління", Київ

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ СИНХРОНІЗАЦІЇ

У статті проаналізовані основні принципи досягнення максимальної точності синхронізації.

Ключові слова: *радіоінтерферометр з наддовгою базою, радіотехнічний комплекс, широкосмуговий шумоподобний сигнал.*

Вступ

При розробці систем високої складності встає низка принципових запитань, вирішення яких визначає подоба системи і можливості її розвитку. При розробці траекторної радіоінтерферометричної системи принциповим є забезпечити синхронізацію

видалених шкал часу в пунктах виміру радіовиміру радіоінтерферометра.

Метод синхронізації годинника з використанням супутника зв'язку вперше був застосований в 1962 році [1]. Синхронізація шкал часу Військово-морської обсерваторії США (USNO) і Національної фізичної лабораторії Великобританії (NPL) прово-

дилася через супутник Telstar, що знаходився на еліптичній орбіті. Як синхронізуючий сигнал використовувалася послідовність імпульсів тривалістю 5 мкс і частотою повторення 10 Гц. В результаті була досягнута висока для того часу точність ± 1 мкс.

Для синхронізації системи РЗНБ-вимірів доцільно вирішити такі завдання:

- розробка методики синхронізації;
- вибір сигналу для передачі шкал часу і методу його обробки;
- аналіз погрешностей синхронізації.

При цьому необхідно розробити новий метод звірення видалених шкал часу через супутниковий канал, а також вирішити весь комплекс методичних апаратних і експериментальних завдань з метою досягнення точності синхронізації порядку 0,1 нс.

Основна частина

Потреби науки і техніки заставляють шукати можливості подальшого підвищення точності синхронізації годинника (до 0,1 нс) із збереженням високої оперативності методу звірення шкал часу через супутниковий канал. Цього можна досягти за таких умов [2]:

1. Синхронізацію необхідно вести через геостационарний КА, щоб зменшити погрешності, пов'язані з рухом КА відносно пунктів звірення. Основними причинами цих погрешностей є ефект Доплера і релятивістські ефекти.

2. Процедура обміну сигналами має бути побудована так, щоб в основному виключити затримки, пов'язані з формуванням і поширенням сигналів. В цьому випадку точність синхронізації залежатиме від параметрів бортового РТК, типа сигналу і точності виміру тимчасових інтервалів.

3. Сигнал, яким обмінюються пункти РЗНБ, має бути широкопasmовим шумоподобним сигналом (ШШС), синхронізованим з опорними стандартами частоти і часу.

4. Стабільність гетеродинів бортового РТК і наземного РТК повинна забезпечувати достатнє для здобуття потрібного відношення сигнал-шум час когерентного накопичення на виході приймача наземного РТК.

5. Тимчасові затримки K_i , необхідні для обчислення різниці показань годинників, повинні вимірюватися за допомогою кореляційної обробки сигналу так, як це робиться в радіоінтерферометрії, що забезпечує найвищу точність виміру τ .

Аналіз основних тенденцій розвитку систем синхронізації з використанням супутникових каналів зв'язку [2, 3] показує на можливість розробки схеми і техніки вимірів.

Оцінимо можливість здобуття необхідної точності виміру тимчасових затримок $\sigma_\tau = 0,1$ нс для випадку використання геостационарного опорного КА і кореляційної обробки сигналу. В цьому випадку відношення сигнал-шум складе

$$h = P_C \sqrt{\Delta f t_C} / 2 / P_{\text{ш}} \quad (1)$$

де Δf – смуга частот псевдошумового сигналу, що приймаються і реєстрованих; P_C і $P_{\text{ш}}$ – потужності сигналу і шуму на вході приймача; t_C – інтервал когерентності сигналу при його ретрансляції.

При цьому помилка виміру тимчасової затримки σ_τ має вигляд

$$\sigma_\tau = \sqrt{3} / (\pi h \Delta f).$$

Тоді для здобуття помилки $\sigma_\tau \leq 0,1$ нс необхідно, щоб $h \Delta f \geq 5 \cdot 10^9$. Наприклад, при $\Delta f = 10$ МГц отримуємо $h \geq 500$, що сповна досягне навіть при використанні приймально-передавальних антен малого діаметру. Відношення $g = P_C / P_{\text{ш}}$ на вході приймача наземного РТК системи траєкторних вимірів РЗНБ, що працює через геостационарний опорний КА типу "Горизонт", складає $g \approx 100$, тому для $h = 500$ і $\Delta f = 10$ МГц згідно (1) виявляється достатнім $t_C = 5 \cdot 10^{-6}$ с. Як відомо [4], такий час когерентності забезпечується вже при нестабільності гетеродина бортового РТК $\sigma_f = 2 \cdot 10^{-6}$.

Таким чином, в запропонованому методі синхронізації з використанням кореляційної обробки ШШС досяжна точність 0,1 нс.

Для практичної реалізації синхронізації шкал годинника наземного і бортового РТК використовуваний метод [5, 6], який можна максимально адаптувати до системи траєкторних вимірів РЗНБ. При цьому для здобуття навігаційних характеристик вимірюваного КА необхідне звірення таких шкал часу схеми:

- наземного РТК і вимірюваного КА;
- наземного РТК і опорного КА;
- вимірюваного КА і опорного КА.

При цьому як додаткова інформація, що дозволяє компенсувати системні помилки вимірів, представляє інтерес звірення шкал часу:

- наземного РТК через опорний КА і вимірюваний КА;
- наземного РТК через вимірюваний КА і опорний КА;
- опорного КА через вимірюваний КА з наземним РТК;
- вимірюваного КА через опорний КА з наземним РТК.

Висновки

Проаналізовані основні принципи досягнення максимальної точності синхронізації. Запропоновані основні принципи побудови системи передачі шкал часу і показана принципова можливість здійснення синхронізації з точністю до 0,1 нс. Проведений аналіз чинників, що визначають точність передачі шкал часу по каналу супутникового зв'язку.

Список літератури

1. Steele J., Marcowitch W., Lündback C. *Telstar time synchronization // IEEE Trans. Instr. and Meas.* - 1964. - JM-13. - №1. - P. 164-170.

2. Губанов В.С. Синхронизация часов через геостационарный ретранслятор с помощью радиointерферометрической техники / В.С. Губанов, М.Н. Кайдановский, Н.Д. Умарбаева // Кинематика и физика небесных тел. – 1989. – Т. 5, №6. – С. 84-88.

3. Beehler R.F. Time / Frequency services of the U.S. National Bureau of Standards and some alternatives for future improvement // Journal of the Institution of Electronic and Telecommunication Engineers, V. 27. – №10. – 1981. – P. 389-402.

4. Кайдановский М.Н. Построение спутниковой системы передачи данных для радиointерферометров со сверхдлинными базами: дис. ... докт. техн. наук: 01.03.02. – СПб., 1998. – 281 с.

5. Иванов М.А. Обоснование использования адап-

тивных методов теории высокоскоростной передачи специальной информации по радиоканалам миллиметрового диапазона длин волн / М.А. Иванов, С.В. Козелков.- М., 1989. – 12 с. – Деп. в ЦИВТИ МО СССР, вып. 10. №4250, В1386.

6. Козелков С.В. Наземный радиотехнический комплекс управления и идентификации космических аппаратов двойного назначения среднего и дальнего космоса: дис. ... докт. тех. наук: 05.17.21. – Х., 2000. – 457 с.

Надійшла до редколегії 19.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ

С.В. Козелков, К.С. Козелкова

В статье проанализированы основные принципы достижения максимальной точности синхронизации.

Ключевые слова: радиointерферометр со сверхдлинной базой, радиотехнический комплекс, широкополосной шумоподобный сигнал.

ANALYSIS OF BASIC PRINCIPLES OF ACHIEVEMENT OF MAXIMAL EXACTNESS OF SYNCHRONIZATION

S.V. Kozelkov, K.S. Kozelkova

Basic principles of achievement of maximal exactness of synchronization are analysed in the article.

Keywords: radiointerferometer with a superdistant base, radio engineering complexwideband noise-type signal.