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 траєкторної 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-

© С.В. Козелков, К.С. Козелкова

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 погрішностей синхронізації.

При цьому необхідно розробити новий метод звірення видалених шкал часу через супутниковий канал, а також вирішити весь комплекс методичних апаратурних 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 геостаціонарний КА, щоб зменшити погрішності, пов'язані з рухом КА відносно пунктів звірення. Основними причинами цих погрішностей є ефект Допплера 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 широкосмуговим 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 Кі, 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 σ_τ = 0,1 нс для випадку використання геостаціонарного опорного КА і кореляційної обробки сигналу. В цьому випадку відношення сигнал-шум складе

$$h = P_C\sqrt{\Delta f t_C / 2}\Big/P_Ш , \qquad (1)$$

де Δf – смуга частот псевдошумового сигналу, що приймаються і реєстрованих; P_C и $P_Ш$ – 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

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

Тоді для здобуття помилки $\sigma_\tau \le$ 0,1 нс необхідно, щоб $h\Delta f \ge 5\cdot10^9$. Наприклад, при Δf =10 МГц отримуємо $h \ge 500$, що сповна досяжне навіть при використанні приймально-передавальних антен малого діаметру. Відношення $g = P_C / P_Ш$ на вході приймача наземного РТК системи траєкторних вимірів РЗНБ, що працює через геостаціонарний опорний КА типа "Горизонт", складає $g \approx 100$, тому для h =500 и Δf =10 МГц згідно (1) виявляється достатнім $t_C = 5\cdot10^{-6}$ с. Як відомо [4], такий час когерентності забезпечується вже при нестабільності гетеродина бортового РТК $\sigma_f = 2\cdot10^{-6}$.

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., Liindback C. Telstar time synchronization // JEEE Trans. Instr. and Meas.- 1964. – JM-13. – №1. – P. 164-170.

2. Губанов В.С. Синхронизация часов через геостационарный ретранслятор с помощью радиоинтерферометрической 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.Natinal Burean of Standarts and some alternatives for future improvement // Jornal 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 радиоинтерферометров со сверхдлинными базами: дис. ... докт. техн. наук: 01.03.02. – СПб., 1998. – 281 с.

5. Иванов М.А. Обоснование использования адаптивных методов теории высокоскоростнйо 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: *радиоинтерферометр 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 сверхдлинной base, radio engineering complexwideband noise-type signal.*