

АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ ШКАЛ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ СТАНДАРТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ РАДИОТЕЛЕСКОПОВ

А. П. Алешкин, И. В. Соломянный*

*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,
* ilya.solomyanniy@yandex.ru*

Аннотация. Представлен перспективный подход к решению задачи синхронизации шкал времени с применением трех мобильных радиотелескопов. Приведены результаты расчета неточности формирования шкалы времени одного мобильного радиотелескопа и шкал времени двух других, участвующих в наблюдении. Предложенный алгоритм позволяет оценить погрешность формирования местной шкалы времени и служит в качестве резервного для повышения устойчивости функционирования системы координатно-временного и навигационного обеспечения.

Ключевые слова: коррекция шкал времени, удаленные синхронизаторы, мобильный радиотелескоп

Ссылка для цитирования: Алешкин А. П., Соломянный И. В. Алгоритм синхронизации временных шкал пространственно разнесенных стандартов с использованием мобильных радиотелескопов // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 5. С. 455–458. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-455-458.

ALGORITHM FOR SYNCHRONIZING TIME SCALES OF SPATIALLY SEPARATED STANDARDS USING MOBILE RADIO TELESCOPES

A. P. Aleshkin, I. V. Solomyanny*

*A. F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia,
* ilya.solomyanniy@yandex.ru*

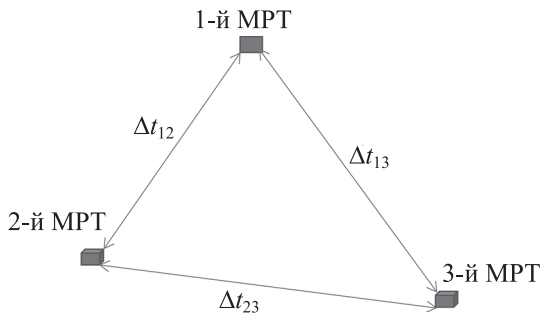
Abstract. A promising approach to solving the problem of time scale synchronization using three mobile radio telescopes is proposed. Results of calculating the inaccuracy of time scale formation of one mobile radio telescope and of time scales of two others participating in the observation, are presented. The proposed algorithm makes it possible to estimate the error in the formation of a local time scale and serves as a backup for increasing the stability of coordinate-time and navigation support system functioning.

Keywords. time scale correction, remote synchronizers, mobile radio telescope

For citation: Aleshkin A. P., Solomyanny I. V. Algorithm for synchronizing time scales of spatially separated standards using mobile radio telescopes. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 5. P. 455–458 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-455-458.

Одним из перспективных направлений развития координатно-временного и навигационного обеспечения специальных потребителей, а также совершенствования Государственной системы единого времени и эталонных частот „Цель“ является применение мобильных радиоинтерферометров с длинной базой. Актуальность и важность коррекции шкал времени обусловлена тем, что измерения, проводимые с помощью мобильных радиотелескопов, могут обеспечить точность 0,1 нс/сутки [1, 2].

Рассмотрим возможность определения величин расхождения шкал времени (ШВ) трех пространственно разнесенных стандартов частоты времени (СЧВ). В качестве измерительных средств используем мобильные радиотелескопы (МРТ), реализующие технологию радиоинтерферометрического приема излучения внегалактических источников — квазаров [3].



Проанализируем задержку прихода сигнала по одному квазару одновременно на трех базах: Δt_{12} — между 1-м и 2-м МРТ, Δt_{13} — между 1-м и 3-м МРТ, Δt_{23} — между 2-м и 3-м МРТ.

Формализуем соотношения для указанных задержек в предположении, что истинные значения задержек $\Delta t_{12\text{ист}}$, $\Delta t_{13\text{ист}}$, $\Delta t_{23\text{ист}}$ искажаются только при временной привязке результатов приема аналогового сигнала, соответствующего излучению выбранного квазара, что приводит к погрешности формирования текущей шкалы времени, которую и предполагается рассчитать (см. рисунок).

Тогда соотношения для задержек при приеме излучения на три базы примут следующий вид:

$$\Delta t_{12} = \Delta t_{12\text{ист}} + \delta t_1 + \delta t_2;$$

$$\Delta t_{13} = \Delta t_{13\text{ист}} + \delta t_1 + \delta t_3;$$

$$\Delta t_{23} = \Delta t_{23\text{ист}} + \delta t_2 + \delta t_3,$$

где δt_1 , δt_2 , δt_3 — уходы соответствующих ШВ СЧВ, используемых при временной привязке измерений к ШВ соответственно 1, 2 и 3-го МРТ.

Суммируем два первых уравнения и вычтем из суммы третье:

$$\begin{aligned} \Delta t_{12} + \Delta t_{13} - \Delta t_{23} &= \Delta t_{12\text{ист}} + \delta t_1 + \delta t_2 + \Delta t_{13\text{ист}} + \delta t_1 + \delta t_3 - (\Delta t_{23\text{ист}} + \delta t_2 + \delta t_3) = \\ &= \Delta t_{12\text{ист}} + 2\delta t_1 + \Delta t_{13\text{ист}} - \Delta t_{23\text{ист}}. \end{aligned}$$

В левой части данного выражения представлены задержки, полученные в результате реальных измерений, а в правой части — их расчетные значения (могут быть априори получены при точной привязке на местности позиций фазовых центров антенн радиотелескопов) и удвоенная погрешность ухода ШВ СЧВ для 1-го МРТ. Тогда:

$$\begin{aligned} \delta t_1 &= \Delta t_{12} + \Delta t_{13} - \Delta t_{23} - (\Delta t_{12\text{ист}} + \Delta t_{13\text{ист}} - \Delta t_{23\text{ист}}) = \\ &= (\Delta t_{12} - \Delta t_{12\text{ист}}) + (\Delta t_{13} - \Delta t_{13\text{ист}}) + (\Delta t_{23\text{ист}} - \Delta t_{23}). \end{aligned}$$

Используя данное соотношение, можно рассчитать неточность формирования ШВ для 1-го МРТ и получить выражения для уходов ШВ остальных МРТ в соответствии с выражениями

$$\delta t_2 = \Delta t_{12} - \Delta t_{12\text{ист}} - \delta t_1 = (\Delta t_{13} - \Delta t_{13\text{ист}}) + (\Delta t_{23\text{ист}} - \Delta t_{23}),$$

$$\delta t_3 = \Delta t_{23} - \Delta t_{23\text{ист}} - \delta t_2 = (\Delta t_{23} - \Delta t_{23\text{ист}}) - (\Delta t_{13} - \Delta t_{13\text{ист}}).$$

Таким образом, при использовании трех МРТ, размещенных в заранее прецизионно привязанных позициях, можно решить задачу синхронизации ШВ удаленных синхронизаторов без использования опорной ШВ.

Представленная методика может быть использована при формировании групповой ШВ для пространственно-разнесенных средств системы единого времени [4].

Следует отметить, что представленные выкладки указывают на принципиальную возможность расчета уходов ШВ СЧВ в условиях, когда присутствуют только систематические погрешности (дрейфы) [5] временных шкал генераторов, используемых для привязки текущих измерений к временной шкале.

В общем случае решения задачи синхронизации также следует учитывать такие факторы, как случайные погрешности измерений [6] и их повышенную интенсивность при малой апертуре антенн, свойственной мобильному варианту радиотелескопа; неопределенности, связанные с неодинаковостью трасс распространения сигналов от внегалактических источников; неидентичность фидерных трактов и трактов приемных устройств; неточности позиционирования МРТ и др.

Влияние перечисленных факторов на процессы координатно-временного обеспечения потребителей хорошо известно специалистам, и существует немалое количество различных методик [7], призванных минимизировать возмущающее воздействие этих факторов [8].

Рассмотренный алгоритм был разработан с целью показать возможность решения задачи сличения ШВ удаленных синхронизаторов без использования навигационного поля спутниковых систем и транспортируемых СЧВ для перспективного направления координатно-временного и навигационного обеспечения специальных потребителей с помощью технологии мобильной радиоинтерферометрии с длинной базой при использовании МРТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Whitney A. R. The Mark 5 VLBI Data System // Proc. of the 18th VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, Apr. 2007, Vienna. P. 33–38.
2. Petrachenko B., Corey B., Himwich E., Ma Ch., Malkin Z., Niell A., Shaffer D., Vandenberg N. Final Report of the Observing Strategies Sub-Group of IVS working Group 3 // VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems. 2005.
3. Жуков Е. Т., Иванов Д. В., Курдубов С. Л. Сличение удаленных стандартов частоты и времени методом РСДБ // Тр. Института прикладной астрономии РАН. 2012. Вып. 23. С. 125–130.
4. Юдаев Д. и др. Анализ высокоточных методов синхронизации разнесенных источников высокостабильных сигналов частоты и точного времени // Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах: Сб. материалов II Всерос. науч.-практ. конф., 1 окт. 2021 г., Москва. М.: 2022. С. 281–289.
5. Царук А. А., Иванов Д. В., Жуков Е. Т., Карпичев А. С. Сравнение шкал времени и частот с помощью радиоинтерферометра нового поколения // Тр. Института прикладной астрономии РАН. 2019. № 50. С. 79–86.
6. Вытнов А. В., Иванов Д. В. Модернизация хранителей времени и частоты РСДБ комплекса „Квазар-КВО“ // Тр. Института прикладной астрономии РАН. 2009. Вып. 19.
7. Дугин Н. А., Гавриленко В. Г., Антипенко А. А. и др. Радиоинтерферометр с независимым приемом ННГУ — НИРФИ — Ирбене. Первые результаты // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2013. N 1 (1). С. 79–85.
8. Красовский П. А., Костромин В. П., Кошеляевский Н. Б. Сличение территориально удаленных часов // Тр. Института прикладной астрономии РАН. 2009. Вып. 20. С. 203–214.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Андрей Петрович Алешкин** — д-р техн. наук, профессор; ВКА им. А. Ф. Можайского, факультет радиоэлектронных систем космических комплексов; E-mail: vka@mil.ru
- Илья Васильевич Соломянный** — адъюнкт; ВКА им. А. Ф. Можайского, факультет радиоэлектронных систем космических комплексов; E-mail: ilya.solomyanniy@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 19.01.2024; принята к публикации 22.03.2024.

REFERENCES

1. Whitney A. R. *Proc. of the 18th VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting*, April 2007, Vienna, pp. 33–38.
2. Petrachenko B., Corey B., Himwich E., Ma Ch., Malkin Z., Niell A., Shaffer D., Vandenberg N. *VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems*, 2005.
3. Zhukov E. T., Ivanov D. V., Kurdubov S. L. *Transactions of the Institute of Applied Astronomy RAS*, 2012, no. 23, pp. 125–130. (in Russ.)
4. Yudaev D. T. et al. *Tekhnologii polucheniya i obrabotki informatsii o dinamicheskikh ob"yektakh i sistemakh (Technologies for Obtaining and Processing Information about Dynamic Objects and Systems), Collection of materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*, Moscow, October 1, 2021, 2022, pp. 281–289. (in Russ.)
5. Tsaruk A., Ivanov D., Zhykov E., Karpichev A. *Transactions of the Institute of Applied Astronomy RAS*, 2019, no. 50, pp. 79–86. (in Russ.)
6. Vytnov A. V., Ivanov D. V. *Transactions of the Institute of Applied Astronomy RAS*, 2009, no. 19. (in Russ.)
7. Dugin N. A., Gavrilenko V. G., Antipenko A. A., Dementiev A. F., Nechaeva M. B., Tikhomirov Yu. V., Kalinin A. V., Chagunin A. K. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2013, no. 1–1, pp. 79–85. (in Russ.)
8. Krasovsky P. A., Kostromin V. P., Koshelyaevsky N. B. *Transactions of the Institute of Applied Astronomy RAS*, 2009, no. 20, pp. 203–214. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Andrey P. Aleshkin** — Dr. Sci., Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Faculty of Radioelectronic Systems of Space Complexes; E-mail: vka@mil.ru
- Ilya V. Solomyanny** — Adjunct; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Faculty of Radioelectronic Systems of Space Complexes; E-mail: ilya.solomyanniy@yandex.ru

Received 15.01.2024; approved after reviewing 19.01.2024; accepted for publication 22.03.2024.