

Использование GPS для синхронизации регистрации ОНЧ-сигналов

В.И. Козлов, Р.Р. Каримов, В.А. Муллаяров

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН
677980, г. Якутск, пр-т Ленина, 31
E-mail: v.kozlov@ikfia.ysn.ru*

Временная синхронизация регистраторов ОНЧ-сигналов осуществляется с помощью GPS-часов. Запуск аналого-цифрового преобразователя производится от ежесекундных импульсов GPS-часов. В качестве сигнала внешнего тактового генератора аналого-цифрового преобразователя используется сигнал 10 МГц с выхода GPS-часов. С них же считывается время запуска. Методика апробирована при синхронизованных измерениях сигналов грозовых разрядов - атмосфериков в гг. Якутск – Нерюнгри в 2006 г. и Якутск – Улан-Удэ в 2007 г. и при регистрации эффектов солнечных затмений 29.03.06 и 19.03.07 в амплитуде и фазе сигналов радиостанций.

Введение

Регистратор ОНЧ-сигналов (очень низкочастотного диапазона) состоит из антенной системы, аналогового усилительного тракта и аналого-цифрового преобразователя. При разнесенном приеме сигналов можно добиться идентичности аналогового тракта. Остается задача синхронной привязки времени приема сигналов.

Временная синхронизация ОНЧ-сигналов может осуществляться с помощью GPS-часов. Запуск аналого-цифрового преобразователя производится от ежесекундных импульсов GPS-часов. В качестве сигнала внешнего тактового генератора аналого-цифрового преобразователя используется сигнал 10 МГц с выхода GPS-часов. С них же считывается время запуска.

Стабильный кварцевый генератор часов периодически корректируется от GPS сигналов и способен поддерживать частоту на длительных интервалах времени даже при отсутствии сигналов GPS. Его цена ниже рубидиевого генератора, он имеет намного более широкий температурный диапазон и значительно более длительный срок службы, чем рубидиевый стандарт частоты. GPS-часы используют долговременную стабильность GPS и объединяют её с хорошей короткопериодической стабильностью качественного кварцевого генератора. Последний имеет сигнал очень высокого качества на коротком интервале времени, но имеет тенденцию к уходу на более длительных периодах. Это исправляется коррекцией от GPS-сигналов. Сигнал от спутника очень точен. Ошибки моделирования атмосферы могут составлять до 50 наносекунд в составе общей ошибки. 1 PPS точность: UTC ± 50 наносекунд; 10 МГц точность: $1,16 \times 10^{-12}$ после одного дня работы (три сигма).

Синхронизованные измерения сигналов грозовых разрядов

В нашем комплекте аппаратуры используется аналого-цифровой преобразователь USB3000-GD с переходным устройством GPS2500, изготовленный и доработанный для нас Научно-производственной группой "R-Technology". Внешняя тактовая частота 2,5 МГц для аналого-цифрового преобразователя получается делением в переходном устройстве синхронизованного сигнала от GPS частотой 10 МГц. Временная синхронизация ОНЧ-сигналов осуществляется с помощью GPS-часов (Thunderbolt GPS Disciplined Clock). Запуск аналого-цифрового преобразователя производится от ежесекундных импульсов GPS-часов. С них же считывается время запуска.

Аппаратура апробирована при синхронизованных измерениях сигналов грозовых разрядов - атмосфериков в гг. Якутск – Нерюнгри в 2006 г. и Якутск – Улан-Удэ в 2007 г. и при регистрации эффектов солнечных затмений 29.03.06 и 19.03.07 в амплитуде и фазе сигналов радиостанций.

На рис. 1. представлена схема одного из пунктов многопунктовой системы регистрации грозовых разрядов.

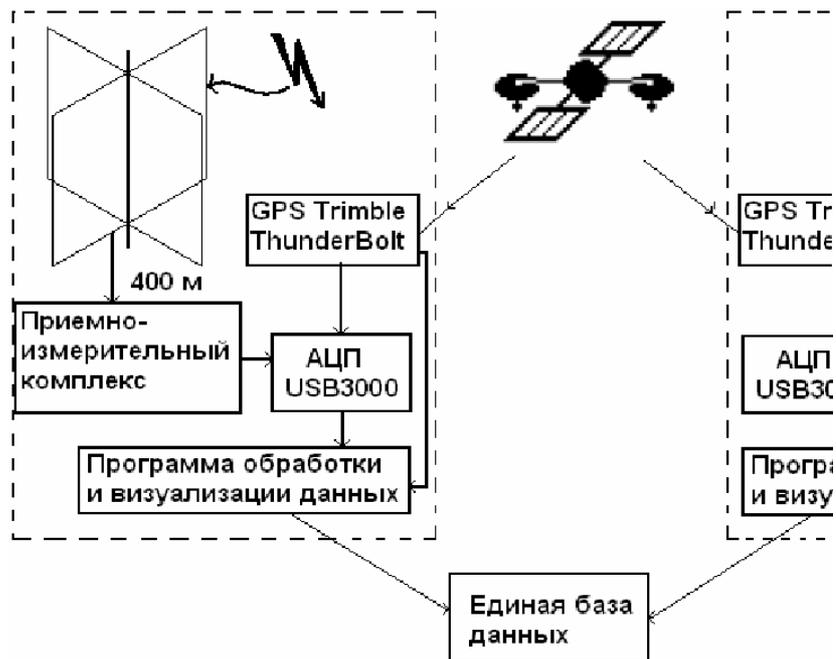


Рис. 1. Общая схема одного из пунктов многопунктовой системы регистрации грозовых разрядов

При совместной синхронизованной работе даже всего только двух однопунктовых пеленгаторов (Якутск и Нерюнгри) можно локализовать местоположение грозового разряда триангуляционным или разностно-временным методами [1].

Триангуляционный метод определения местоположения грозового разряда основан на вычислении географических координат по двум измеренным пеленгам путем решения криволинейных треугольников, образованных точками грозы и пунктов пеленгования по следующему алгоритму:

1) Выбираются те разряды в массивах данных для Якутска и Нерюнгри, разница времени между которыми по модулю меньше отношения величины базы (т.е. расстояния между Якутском и Нерюнгри) к скорости распространения радиоволны.

2) Определяются для каждого пункта регистрации пеленг базы, т.е. углы между северным направлением и линией соединяющей две точки, соответствующих местоположению пунктов регистрации.

3) Из пеленгов зарегистрированных сигналов грозовых разрядов в двух пунктах вычитаются соответствующие пеленги базы. Таким образом, получаются два угла сферического треугольника, вершины которого соответствуют двум пунктам регистрации и положению грозового разряда. «Сторона» между двумя найденными углами равна углу сектора, образованному двумя радиусами Земли и дугой, длина которой равна величине базы.

4) Найдя два угла, необходимо проверить, могут ли они образовать сферический треугольник или нет. Если углы не могут сформировать сферический треугольник, то это означает, что рассматриваемые два пеленга соответствуют разным грозовым разрядам.

5) По двум углам и расстоянию между ними, вычисляются остальные стороны и третий угол сферического треугольника. Тем самым находятся расстояния между каждым пунктом и грозовым разрядом.

6) Далее, используя сферические треугольники, образованные местоположением одного из пунктов регистрации, местоположением грозового разряда и северным полюсом, находятся географические координаты грозового разряда. Применяется формула для криволинейных треуголь-

ников, в которых используются две стороны (первая – расстояние между пунктом регистрации и разрядом, вторая – расстояние между северным полюсом и пунктом регистрации) и угол между ними.

Разностно-временной метод основан на вычислении местоположения грозового разряда по разнице времени (Δt) прихода радиосигнала от грозового разряда в разнесенные пункты регистрации и пеленгов двух станций на грозовой разряд.

За время прихода радиосигнала от грозового разряда принимается время первого превышения порога, равного 0,1 от величины максимума принятого радиосигнала от данного грозового разряда [2, 3].

1) Так как для определенной величины Δt разница между расстояниями от каждой станции до возможного положения грозового разряда r одинакова для всех направлений, то точки возможного положения грозового разряда образуют гиперболу с величинами осей $a = \Delta t \cdot (c/2)$ и $b = \sqrt{(D^2 - a^2)}$, где c – скорость распространения радиоволны и D – половина расстояния между пунктами регистрации.

2) Зная пеленг на грозовой разряд ϕ и значения величин осей гиперболы, можно найти расстояние r между пунктом регистрации и грозовым разрядом.

Таким образом, получаем две возможные величины расстояния. Если разница времени Δt отрицательна (т. е. радиосигнал от грозового разряда до пункта регистрации, пеленг которого участвовал в вычислениях, пришел быстрее, чем до второго пункта), то выбирается та величина расстояния r , которая является меньшей. Если иначе, то выбирается большее значение величины расстояния.

3) Далее так же, как и в триангуляционном методе, зная расстояние до разряда и пеленг на разряд, с помощью сферического треугольника можно вычислить географические координаты.

4) Необходимо провести такое же вычисление и для второго пункта.

5) Для повышения точности местоположения грозового разряда полученные в расчетах для каждого пункта регистрации значения географических координат грозового разряда усредняются.

В качестве примера использования синхронизации от GPS приемников представлено сравнение результатов регистрации грозовых разрядов облако-земля однопунктовой и двухпунктовой системами грозопеленгации 9 августа 2006 за двухчасовой интервал (12-13 LT), показанное на рис. 2. Справа внизу на рисунке показана картина наблюдаемой в это время облачности со спутника NOAA [http://lgi.ysn.ru//AVHRR_Cloud_Images/cloud.html]. Как видно из рисунка, картина

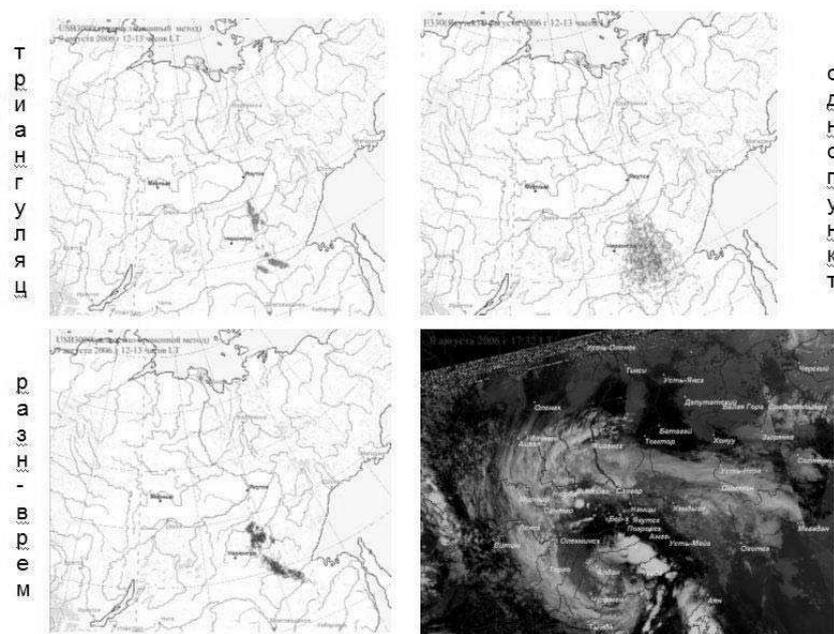


Рис. 2. Сравнение однопунктовой и двухпунктовой систем грозопеленгации 9.08.06 12-13 LT

распределения грозových разрядов, полученная с помощью двухпунктовой системы грозопенга-ции дает более детальную картину, позволяющую выделять отдельные группы сгущений грозо-вых разрядов размерами несколько десятков километров в поперечнике. А однопунктовая система дает более размытую картину, особенно на периферии области регистрации, хоть и соответ-ствующую положению кучево-дождевой (грозовой) облачности с мощными и плотными облаками.

Временная синхронизация регистратора сигналов радиостанций СДВ диапазона

Временная синхронизация регистратора сигналов радиостанций СДВ диапазона, также осу-ществляется с помощью GPS-часов (Thunderbolt). Блок-схема измерительного комплекса для ре-гистрации сигналов радиостанций представлена на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема измерительного комплекса для регистрации сигналов радиостанций

Для выделения сигналов радиостанций, соответствующих трем частотам Российской радио-навигационной системы (РНС), из зарегистрированной записи использовались решетчатые функ-ции преобразования Фурье. Длительность «окна» выборки для каждой частоты подбиралось так, чтобы укладывалось целое число периодов. Поэтому предварительно формировался табличный массив значений тригонометрических функций для преобразования Фурье. Этот массив исполь-зовался во время работы, что существенно ускоряет процесс расчета. В сформированном «окне» вычислялись амплитуда и фаза для трех частот, а затем полученные значения усреднялись в каж-дой записи отдельно для каждой частоты. Использовалось прямоугольное окно, размер которого был равен 20 периодам для 14,880 кГц, 17 периодам для 12,649 кГц и 16 периодам для 11,904 кГц. Указанное количество периодов соответствует кратности частот исследуемых сигналов радио-станций, что позволяет избавиться от наложения сигналов радиостанций разной частоты друг на друга при использовании преобразования Фурье.

На рис. 4 в качестве примера использования GPS в качестве опорного генератора, синхрони-зованного с задающими генераторами РНС, представлены результаты измерения фазы и амплиту-ды для трассы Краснодар – Якутск на частоте РНС 12,680 кГц во время солнечного затмения 29.03.06 (интервал времени между точками 126 с). Вертикальными линиями показаны средне-

квадратичные отклонения (σ). Чтобы получить представление об ошибке среднего ($\sigma_{\text{ср}}$), нужно усреднять по 11 окнам, то есть показанные ошибки будут реально в 3,3 раза меньше.

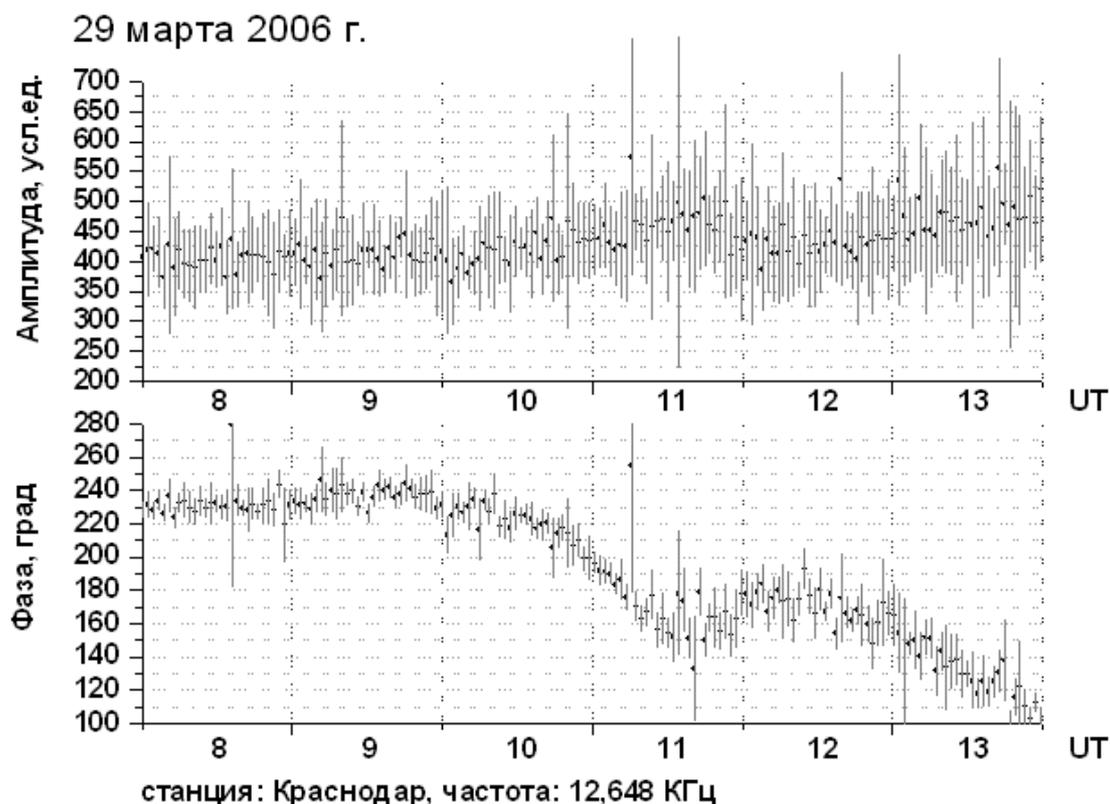


Рис. 4. Поведение фазы и амплитуды сигналов Краснодарской РНС на частоте 12,680 кГц для трассы Краснодар - Якутск. Вертикальными линиями показаны среднеквадратичные отклонения

Наблюдаются изменения в значениях фазы во время затмения на ~ 40 градусов. Максимум эффекта приходится на 11 часов 40-50 минут мирового времени. Наибольшая фаза лунного затмения приходится для Краснодара на 11 часов 13 минут, а для Новосибирска на 11 часов 42 минуты. Различие времени полной фазы лунного затмения в Краснодаре и времени максимального эффекта в изменении фазы сигналов радиостанции для трассы Краснодар-Якутск объясняется тем, что путь лунной тени проходил по всей трассе от Краснодара до терминатора, который «встретил» лунную тень приблизительно в 1000 км восточнее Новосибирска. Таким образом, максимум эффекта наблюдается, когда лунная тень покрывала наибольший участок трассы распространения сигнала, а не только «взлетную площадку».

Следует отметить, что эффект солнечного затмения в изменении фазы и амплитуды сигнала радиостанции происходит на фоне вечерней части суточной вариации фазы и амплитуды, когда происходит увеличение амплитуды сигналов и изменение фазы (эффект терминатора). Суточная вариация среднеквадратических отклонений определяется не только изменением амплитуды сигнала и уровня радишумов естественного происхождения из-за изменений условий распространения, но и суточными изменениями интенсивности источников радишумов естественного происхождения. В нашем случае это в основном интенсивность гроз в Африканском мировом очаге [4]. Минимальные значения среднеквадратических отклонений приблизительно равны 1° для трасс Новосибирск – Якутск и Хабаровск – Якутск. Таким образом, аппаратная ошибка для применяемой методики при данном комплекте аппаратуры не более 1° .

Исследования поддержаны грантом РФФИ 06-08-96020 р_восток_a и Программой президиума РАН №16.

Заключение

Временная синхронизация регистраторов ОНЧ-сигналов может осуществляться от GPS-часов. Запуск аналого-цифрового преобразователя производится при этом от ежесекундных импульсов GPS-часов. В качестве сигнала внешнего тактового генератора аналого-цифрового преобразователя используется сигнал 10 МГц с выхода GPS-часов. С них же считывается время запуска. Методика апробирована при синхронизованных измерениях сигналов грозовых разрядов-атмосфериков в гг. Якутск – Нерюнгри в 2006 г. и Якутск – Улан-Удэ в 2007 г. и при регистрации эффектов солнечных затмений 29.03.06 и 19.03.07 в амплитуде и фазе сигналов радиостанций.

Литература

1. *Lin Y.T., Uman M.A., Tiller J.A., Brantley R.D., Beasley W.H.* Characterization of lightning return stroke electric and magnetic fields from simultaneous two-station measurements // *Journal of Geophysical Research*. 1979. V 84. N C10. P. 6307-6314.
2. *Хаджи Б.А.* Оценка моментов прихода и разностей моментов прихода сигнала в разнесенные приемные пункты // *Радиотехника и электроника*, 1984. С. 2385-2388.
3. *Козлов В.И., Орлов В.А.* Авт. Св. №1135303 от 06.09.83. // *Бюл. Открытия, изобретения*, 1985. № 2. С. 200.
4. *Мурзаева Н.Н., Муллаяров В.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р.* Морфологические характеристики среднеширотного регулярного шумового фона естественного низкочастотного излучения // *Геомагнетизм и аэрномия*, 2001. Т. 41. №1. С. 76-83.