

С. А. Кононаева, Е. В. Бурмистров, П. С. Куприянов
(Москва, АО «НПК» СПП»). **Цифровая предобработка первичных измерений дальности с учетом их плотности вдоль проводки при построении нормальных точек.**

УДК 519.254

Резюме: Международная служба лазерной локации (ILRS) обязывает придерживаться процесса фильтрации сырых измерений дальности и использовать алгоритм Herstromseux для построения нормальных точек (НТ), но допускает обсуждение логики работы цифрового сигнального процессора, обеспечивающего подготовку измерительных данных. Предлагается новый подход к фильтрации «сырых» измерений, основанный на предварительном анализе плотности измерений вдоль проводки, и критерий выбора границ сигнальных участков для построения НТ.

Ключевые слова: нормальные точки, плотность измерений вдоль проводки.

Массив измерений, формируемых станциями международной сети ILRS, содержит весомую долю сеансов с неравномерной плотностью измерений вдоль проводки [1]. Выборочный анализ измерений сети на месячном интервале показал, что причины могут быть связаны как с астроклиматом, так и с особенностями реализации измерительно цикла. Кроме того, эффект варьирования плотности измерений вдоль проводки становится более заметным по мере удаления станций от линии терминатора при работе по низкоорбитальным космическим аппаратам (КА).

Накопление дальномерной информации связано с непрерывным процессом экстремального регулирования — поиском максимума сигнала в процессе измерения дальности, при этом в зоне поиска средний уровень сигнала составляет около 20% от его максимума. На этом фоне неоднородности диаграммы на передачу, качество наведения, ветровая нагрузка являются непрогнозируемыми помехами и могут приводить к изменению локальной плотности измерительной информации вдоль проводки. Причинами полного пропадания сигнала на отдельных участках служат технологические интервалы чтения памяти измерителя временных интервалов, кратные дальности, прозрачность атмосферы и т. п.

Важно заметить, задача обнаружения сигнальной дорожки в стробе дальности может быть решена при достаточно низком соотношении сигнал/шум (рис. 1 а, около 180 сек), но в этом случае повышается вероятность принять шумовые сигналы за отраженные и неверно детектировать границы сигнального участка, что приведет к росту систематической ошибки при построении нормальной точки.

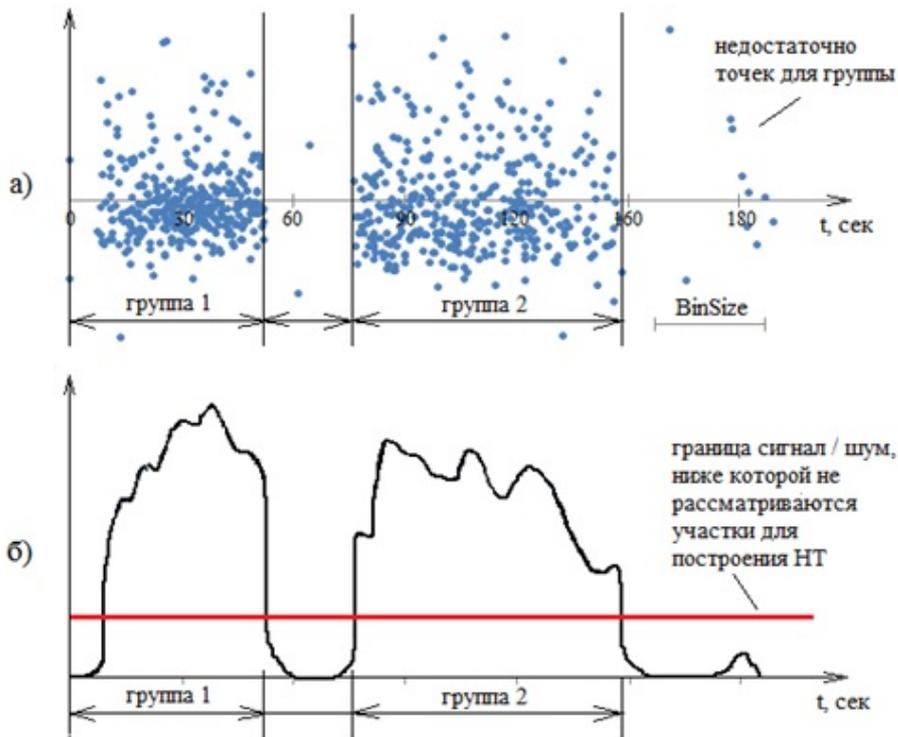


Рис. 1. Деление сеанса на группы, исходя из плотности измерений вдоль сеанса.

Эти особенности работы дальномерного канала требуют сегментирования проводки и выбора участков для построения НТ с наибольшей плотностью «сырых» измерений. В отличие от классического подхода к формированию НТ на равновеликих интервалах, заполняющих всю проводку, в этом случае минимизируется возможность объединения смежных участков проводки с приемлемым соотношением сигнал/шум с шумовым участком, не содержащим достаточного числа отраженных сигналов. Далее к сформированным участкам применяется стандартный алгоритм построения НТ, доступный на официальном сайте ILRS (алгоритм Herstmonceux [2]).

Процесс группировки сырых дальномерных измерений для расчета НТ имеет наглядную аналогию: представим задачу выделения равновеликих земельных участков при подтоплении водой холмистой местности. Примерно также линия уровня ограничивает (сегментирует) участки графика плотности распределения (рис. 1 б), на каждом из которых происходит построение одной или нескольких нормальных точек.

Соответствующая процедура цифровой обработки состоит из двух этапов:

1. поиск вдоль проводки границ участков с высокой плотностью измерений;
2. заполнение этих участков нормальными точками.

На первом этапе строится плотность измерений вдоль сеанса (рис. 1 б). Локальное значение плотности — количество точек (измерений дальности), следующих за каждой текущей точкой и умещающихся в половину интервала BinSize (интервал осреднения BinSize выбирается исходя из высоты КА). С использованием построенной плотности сеанс измерений делится на группы, внутри которых нет «пустых» участков (рис. 1 а). Под «пустым» участком понимаем временной отрезок длиной порядка $\text{BinSize}/2$ с плотностью измерений ниже линии уровня (рис. 2 б). Измеренные точки, попавшие в такие участки, не будут участвовать в построении НТ. На втором этапе сформи-

рованные группы равномерно заполняем отрезками рекомендованной длины (не более BinSize), в каждом из которых будет рассчитана одна НТ и статистика по ней. Количество отрезков будет зависеть от длины группы и количества измерений, попавших в эту группу. На рис. 2(а, б) приведен пример построения нормальных точек, взятых с сайта EUROLAS [3] (рис. 2 а), и вычисленных с использованием предложенной процедуры предобработки (рис. 2 б) по одинаковым исходным данным.

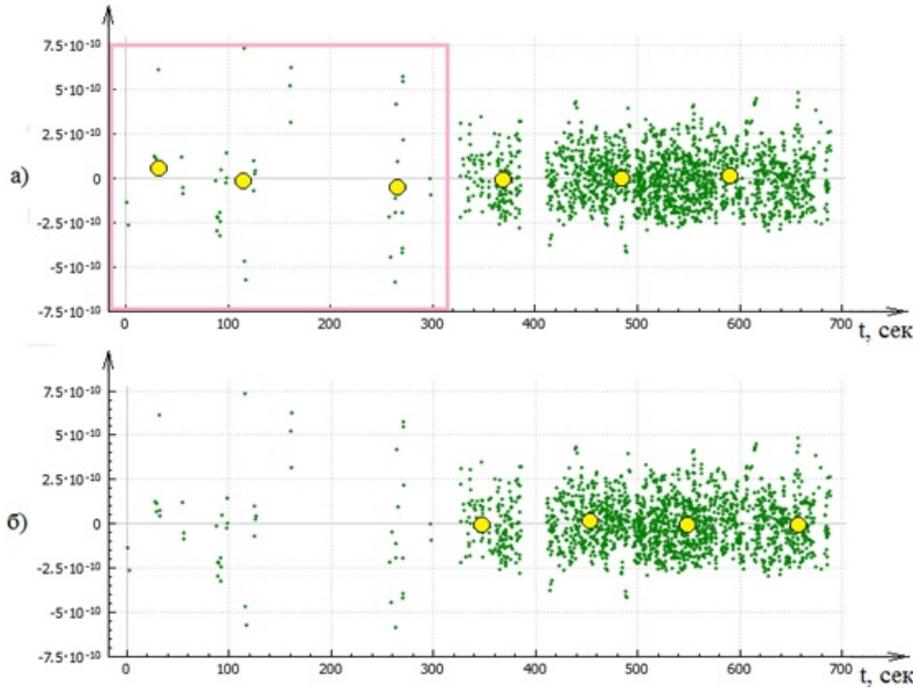


Рис. 2. НТ на фоне «сырых» измерений (а), НТ с предобработкой (б).

Видно, что на рис. 2 а НТ, построенные на участке с малой плотностью измерений, плохо «ложатся» на траекторию. Причина не столько в малом уровне сигнала, сколько в наличии фона (шума) на сигнальном участке и низком соотношении сигнал/шум, что не позволяет достоверно определить границы сигнального участка и приводит к смещенным оценкам. Такие участки предлагается не использовать для построения НТ (рис. 2 б). СКО измерений по всему сеансу без фильтрации (рис. 2 а) составило 166,8 пс. Наибольший «вклад» в данную величину внесли измерения, по которым были построены первые три НТ. СКО измерений по всему сеансу, где была произведена предобработка (рис. 2 б), составило 144,3 пс, что на 13,5% меньше СКО, полученное без предварительной фильтрации «сырых» измерений. Таким образом, предложенный подход фильтрации «сырых» измерений на станциях сети ILRS, расположенных в различных климатических зонах и имеющие свои особенности реализации измерительного процесса, позволит строить более точные оценки на сеансах с неравномерной плотностью измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://cddis.nasa.gov/archive/slr/data/fr-crd/>.
2. Sinclair A. T. Re-Statement of Herstmonceux Normal Point Recommendation, June 1997, https://ilrs.gsfc.nasa.gov/data_and_products/data/npt/npt_algorithm.html.

3. <https://edc.dgfi.tum.de/en/>.

UDC 519.254

Kononaeva S. A., Burmistrov E. V., Kupriyov P. S. (Moscow, Joint Stock Company "Scientific and Production Corporation "Systems of Precision Instrumentation"). **Normal points formation using full rate data digital pre-processing based on density variation.**

*Abstract:*The International Laser Ranging Service (ILRS) obliges to adhere to the filtering process of full rate data and use the Herstmonceux algorithm to construct normal points (NP), but allows discussion of the logic of the digital signal processor that provides the preparation of the measurement data. A new approach to filtering full rate data is proposed, based on a preliminary analysis of the density of measurements along the trajectory, and a criterion for selecting the boundaries of signal sections for constructing NP.

Keywords: normal points, density of measurements along the trajectory.