

ОБ ОЦЕНИВАНИИ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Малкин З.М.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Астрономический институт им. В.В. Соболева СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

При сравнении методов прогноза параметров вращения Земли (ПВЗ) используются различные методики оценки их точности. В работе приводится сравнение трех основных методов оценивания точности прогноза ПВЗ: среднеквадратичного отклонения, среднего абсолютного отклонения и максимального отклонения. На примере реальных прогнозов двух служб вычисления ПВЗ USNO и JPL (более 800 прогнозов, сделанных в 2010–2012 гг.) показано, что первые два метода практически эквивалентны при сопоставлении точности прогноза разными методами. В то же время использование статистики максимального отклонения представляется необходимым для более полного суждения о пригодности метода для того или иного практического приложения. Результаты работы могут быть полезны и в других областях, где применяется прогнозирование временных рядов.

Введение

Прогнозирование параметров вращения Земли (ПВЗ) представляет собой не только интересную научную задачу, но также имеет важные практические применения в таких приложениях, как наземные и спутниковые навигационные системы, оперативное позиционирование, космическая навигация и др. Соответствующие требования потребителей резко выросли в последние годы, что вызвало расширение работ по совершенствованию старых и разработке новых методов прогноза ПВЗ. Как правило, каждая такая работа сопровождается исследованием точности прогноза предлагаемым методом. При этом зачастую используются различные методики оценки, не всегда сопоставимые между собой. Кроме того, используемые методы исследования точности прогноза не всегда могут быть легко сопоставлены с различными требованиями потребителей. В настоящей работе на примере реальных прогнозов ПВЗ проведено сравнение трех основных методов оценки их точности.

Методы оценивания точности прогнозов ПВЗ

В литературе встречаются разные методы оценки точности прогнозов. Все они основаны на анализе разностей между прогнозными и окончательными значениями:

$$\Delta_i^l = x_i^l - x_f, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

где x_i^l – прогнозное значение, полученное в i -ом прогнозе на длину l , x_f – окончательное значение, n – число прогнозов на длину l (т.е. l – число дней в будущее на момент вычисления прогноза). Традиционно в качестве такой оценки используется среднеквадратическое отклонение предсказанных значений от окончательных:

$$RMS_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i^l)^2}{n}}. \quad (2)$$

Поскольку x_f определяется из наблюдений независимо от исследуемых прогнозов, в данном случае следует использовать формулу Гаусса, а не формулу Бесселя, т.е. в знаменателе должно быть n , а не $n-1$ [1]. Это же справедливо и для остальных статистик, рассмотренных ниже.

В последнее время (см., например, [2, 3]) также стали использовать среднее абсолютное отклонение (Mean absolute error):

$$MAE_l = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i^l|}{n}, \quad (3)$$

а также медианное абсолютное отклонение, устойчивое к аномально плохим значениям прогнозов (выбросам):

$$MDAE_l = median(|\Delta_i^l|), \quad (4)$$

но последняя величина используется только как вспомогательная для отбраковки выбросов. Детали использования этих статистик можно найти в [2,3].

Кроме того, можно определить максимальное отклонение прогноза от окончательного значения:

$$MaxE_l = \max_i |\Delta_i^l|. \quad (5)$$

Применяются и другие статистики. Так, например, в работе [4], авторы вычисляли кроме приведенных выше критериев также асимметрию и эксцесс распределения разностей Δ_i^l . Но они используются больше в исследовательских целях, чем для оценки качества прогноза.

Сравнение оценок точности прогноза ПВЗ

Сравнение описанных выше оценок точности прогноза ПВЗ рассмотрим на конкретном примере реальных прогнозов всемирного времени, сделанных в двух службах вычисления ПВЗ: Морская обсерватория США (USNO) и Лаборатория реактивного движения (JPL) в рамках проекта EORCPPP (Earth Orientation Parameters Combination of Prediction Pilot Project, <http://maia.usno.navy.mil/eorcppp/eorcppp.html>). Использованы ежедневные прогнозы, сделанные в каждой службе с 1 сентября 2010 г. по 15 ноября 2012 г., всего более 807 прогнозов USNO и 805 прогнозов JPL. Окончательные значения для сравнения брались из ряда ПВЗ Международной службы вращения Земли и опорных систем координат (IERS, <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>).

Для тестирования методов были выбраны данные краткосрочных прогнозов всемирного времени, поскольку из предыдущего опыта известно, что они имеют близкую точность для этих служб. Для этих прогнозов были вычислены три основные статистики из описанных выше: RMS , MAE и $MaxE$. Каждая из них является функцией от длины прогноза l . Результаты вычислений приведены на рис. 1. Кроме трех указанных статистик приведен график отношения MAE/RMS .

Результаты вычислений позволяют сделать некоторые выводы. Два первых критерия RMS и MAE показывают, что точность прогноза на длине до 15 дней обеими службами практически одинакова. Соответствующие графики практически одинаковы с точностью до масштаба. Таким образом, обе статистики дают, фактически, одну и ту же информацию. Это подтверждается также графиком отношения MAE/RMS , который показывает, что эти статистики почти пропорциональны и, следовательно, на практике взаимозаменяемы при анализе точности прогноза.

В то же время точность прогнозов по критерию $MaxE$ отличается для длин прогноза около 10 дней вдвое. Заметим, что в аналогичном исследовании других серий прогнозов [5] получился обратный результат – применение критериев RMS и MAE показало явное преимущество одной из серий прогнозов, тогда как с точки зрения максимальной ошибки прогноза обе серии оказались практически эквивалентны.

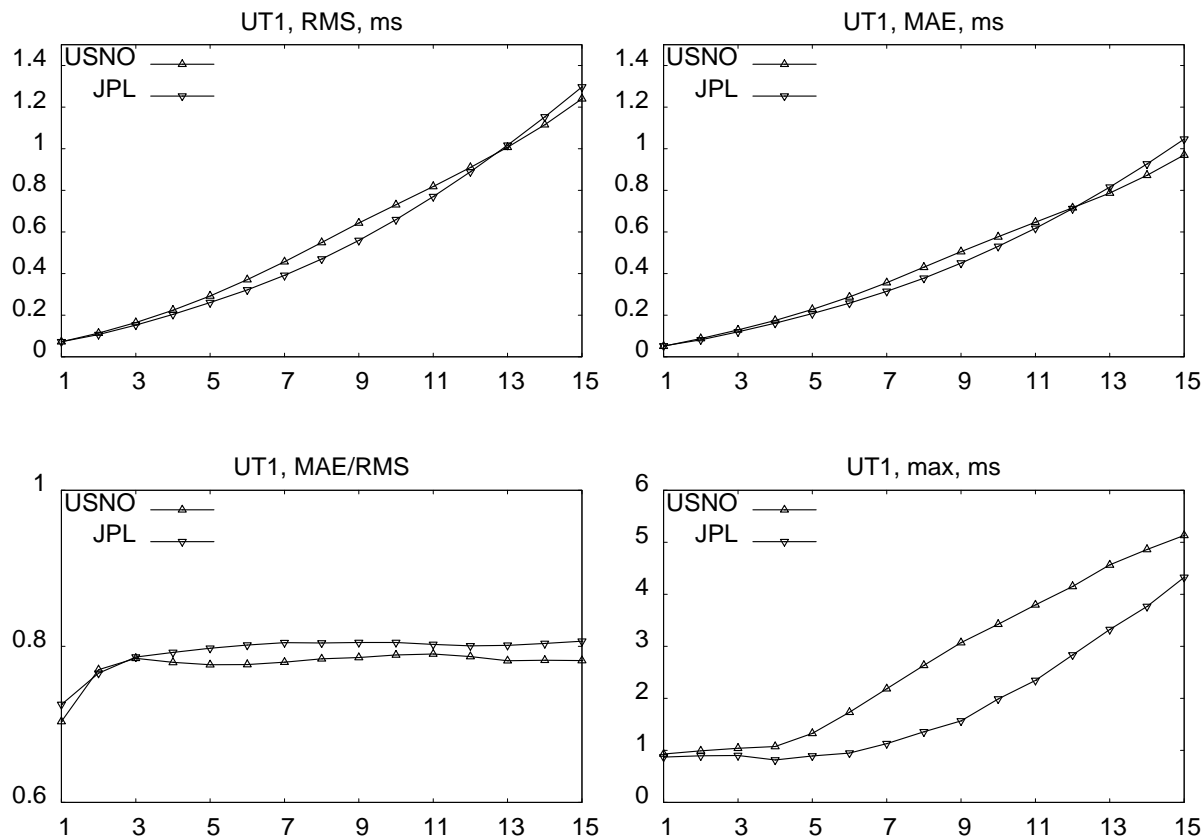


Рис. 1. Различные статистики отклонения прогнозных значений ПВЗ от окончательных, используемые в качестве оценки точности прогноза ПВЗ, мс. По оси абсцисс отложена длина прогноза в днях.

Заключение

В работе проведено сравнение трех основных методов оценивания точности прогноза ПВЗ. Все они основаны на анализе разностей между прогнозными и окончательными значениями. Рассмотренные методы прогноза включают следующие: среднеквадратичная погрешность (*RMS*), среднее абсолютное отклонение (*MAE*) и максимальное отклонение (*MaxE*).

На примере более 800 реальных прогнозов, сделанных в службах вычисления ПВЗ USNO и JPL в 2010–2012 гг. в рамках проекта ЕОРСРРР показано, что применение критериев *RMS* и *MAE* практически эквивалентно для сравнительной оценки качества прогнозов. В то же время исследование максимальной ошибки прогноза *MaxE* представляется необходимым в подобных сравнениях, поскольку позволяет получить ценную дополнительную информацию, особенно в тех случаях, когда пользователя интересует гарантированная ошибка прогноза.

Так в нашем случае сравниваемые прогнозы показали близкую точность по критериям *RMS* и *MAE*, но точность прогнозов по критерию *MaxE* отличается для некоторых длин прогноза вдвое. В предыдущих работах встретился противоположный случай. Поэтому предполагается сделать более детальное исследование для большего числа прогнозов разных длин и вычисленных разными методами

Было бы интересно проверить выводы, полученные в настоящей работе также на других примерах прогнозирования временных рядов, поскольку проблема сравнения качества прогнозов актуальна везде, где используется прогнозирование.

Литература

1. *Малкин З.М., Тиссен В.М.* Исследование точности прогноза параметров вращения Земли методом СНИИМ. Вестн. СПбГУ, Сер. 1, 2012, Вып. 3, 143–152.
2. *Kalarus M., Kosek W., Schuh H.* Current results of the Earth orientation parameters prediction comparison campaign. In: Capitaine N (ed.) Proc. Journées 2007 Systèmes de référence spatio-temporels. Observatoire de Paris, 159–162.
3. *Kalarus M., Schuh H., Kosek W., Akyilmaz O., Bizouard Ch., Gambis D., Gross R., Jovanovic B., Kumakshev S., Kutterer H., Ma L., Mendes Cerveira P. J., Pasynek S., Zotov L.* Achievements of the Earth Orientation Parameters Prediction Comparison Campaign. J. of Geodesy, 2010, V. 84, 587–596.
4. *Kosek W., Luzum B., Kalarus M., Wnęk A., Zbylut M.* Analysis of Pole Coordinate Data Predictions in the Earth Orientation Parameters Combination of Prediction Pilot Project, Artificial Satellites, 2012, V. 46, 139–150.
5. *Tissen V., Tolstikov A., Malkin Z.* UT1 prediction based on long-time series analysis. Artificial Satellites, 2010, V. 45, 111–118.

ON ACCURACY ASSESSMENT OF PREDICTION OF EARTH ROTATION PARAMETERS

Malkin Z.M.^{1,2}

¹*Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia*

²*Sobolev Astronomical Institute, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

Prediction of the Earth rotation parameters (ERP) is not only interesting scientific task, but also has many important practical applications, such as ground-based and satellite navigation systems, operational navigation, space missions control, etc. The users' requirements become much more exacting during last years, which causes intensification of the scientific researches in the field of ERP prediction including improvement of old methods and development of new ones. As a rule each such study is accompanied by the accuracy assessment of the method under investigation. Often, different methods are used for this purpose, not always compatible. Besides, methods of the accuracy assessment not always meet the users' requirements. In this paper, a comparison of several methods of the ERP prediction accuracy assessment has been made, which allows us to obtain more objective data about the quality of the prediction method and its suitability for various applications. In this paper, a comparison is made of three main methods of the ERP prediction accuracy assessment based on a differences analysis between the predicted and final values: root-mean-square error (RMS), mean absolute error (MAE), and maximum error (MaxE). For the test computations the predictions made at USNO and JPL in the framework of the EOPCPPP campaign were used. The results of this test have shown that the RMS and MAE statistics are practically equivalent for the prediction method comparison. On the other hand, MaxE statistics gives a valuable supplement information about the quality of prediction by different methods. Obtained results can be useful also in other fields where a time series prediction is used.