

УДК 629.78.05

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО ПУЛЬСАРАМ

Хоженец А. П., Давыдов И. Е.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

На сегодняшний день, общепринятым методом навигации межпланетного КА является совместное использование информации, полученной с трекинговых наземных станций, и оптической информации с бортовой системы навигации по телам Солнечной системы. Радиоизмерения, проводимые наземными станциями, являются источником очень точной информации о дистанции и угловой скорости КА с ошибкой в 1 метр и 0,1 мм/с соответственно. В определении местоположения и скорости КА, движущегося перпендикулярно относительно Земли, появляются гораздо более значительные ошибки, в связи с ограниченным угловым разрешением радиоантенн. Интерферометрические методы могут уменьшить эту ошибку до значения в 4 км на одну астрономическую единицу. С увеличением расстояния от Земли, ошибки в определении местоположения так же увеличиваются. К примеру, неопределенность в определении местоположения КА на орбите Плутона составляет  $\pm 200$  км, а для текущего расстояния до КА Voyager1 (2016) –  $\pm 500$  км. Тем не менее, эта техника успешно использовалась в экспедициях зондов ко всем планетам Солнечной системы и при изучении ближайших астероидов и комет. Однако в будущем может потребоваться преодоление этих недостатков, а также зависимости от наземных станций слежения, что приводит к большим задержкам и ослаблению сигналов управления.

Альтернативный способ автономной навигации в космосе основан на свойствах пульсаров. Концепт использования пульсаров в целях навигации основан на измерении времени прибытия импульса излучения (радио, рентгеновского или гамма) пульсара и его сравнения с расчетным временем для данной эпохи и местоположения (рис. 1).

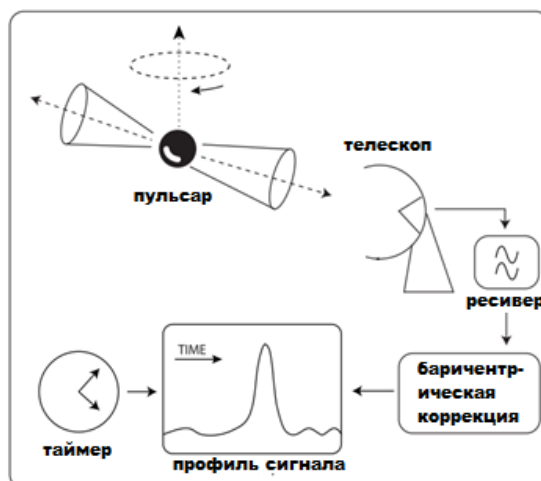


Рис. 1. Принцип навигации по излучению пульсаров

Важным шагом в этой схеме является барицентрическая коррекция моментов прихода фотонов, излучаемых пульсаром. Эфемериды пульсара, наряду с местоположением и скоростью движения наблюдателя, являются параметрами коррекции. Отклонение космического аппарата создает фазовый сдвиг пика импульса (эквивалентный разности во времени его прибытия). Следовательно, положение и скорость аппарата могут быть скорректированы так, чтобы время прибытия импульса

совпадало с ожидаемым. Трехмерная коррекция положения возможна при наблюдении как минимум трех различных пульсаров.

В связи с тем, что местоположение космического аппарата определяется по фазе периодического сигнала, могут возникнуть множественные решения навигационной задачи. Эта проблема может быть решена путем составления некоторого множества возможных решений для области вокруг точки измерения, или путем измерения импульсов с дополнительного числа пульсаров (рисунок 2).

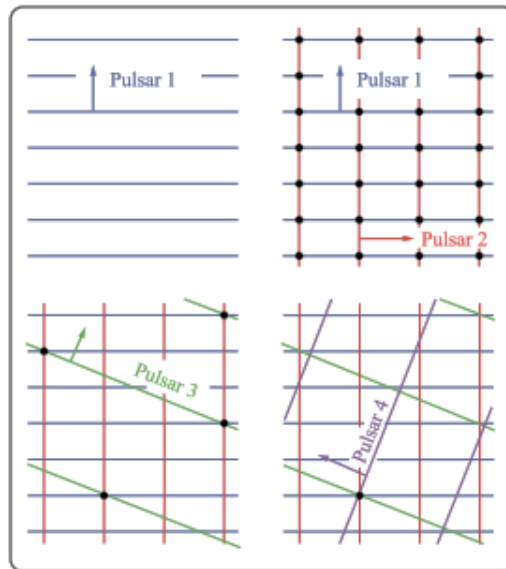


Рис.2. Наглядная иллюстрация увеличения точности определения местоположения космического аппарата при увеличении числа наблюдаемых пульсаров

Использование сигналов «миллисекундных» пульсаров дает возможность повысить точность определения местоположения космического аппарата в Солнечной системе и за ее пределами до точности в  $\pm 5$  километров, которую с развитием технологий можно будет увеличить до нескольких сотен, или даже десятков метров. В связи с этим, главным недостатком на данный момент является сложность и большие габариты подобных систем. Не смотря на это, первые шаги в данной области уже сделаны: в 2016 году Китай запустил первый спутник с системой наблюдения за двадцатью шестью рентгеновскими пульсарами, который будет на протяжении 5-10 лет формировать базу их излучения, которая в дальнейшем ляжет в основу системы навигации.

#### Библиографический список

1. Werner Becker Autonomous Spacecraft Navigation with Pulsars [Текст]/Werner Becker, Mike G. Bernhardt, Axel Jessner - Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, 2013. - 1с.