

**Метод определения центральных и потенциально опасных траекторий  
в результате анализа посадочных траекторий самолётов**

М.О. Солнцева-Чалей<sup>1</sup>, Б.Г. Кухаренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет),

<sup>2</sup> Институт машиноведения РАН

Согласно статистическим данным заход на посадку и посадка являются достаточно критическими этапами полёта. Анализ безопасности полётов гражданской авиации показывает, что случаи невыдерживания безопасной траектории снижения на конечном этапе захода на посадку, маневрирование на этапе посадки (повышенная скорость, отклонения от глиссады планирования) и выкатывание за пределы взлётно-посадочной полосы (ВПП) представляют наибольшую угрозу для безопасности полётов [1], особенно, если аэропорт находится в зоне сложного географического ландшафта, при посадках в условиях плохой видимости или на палубу корабля.

В результате анализа успешных посадок самолётов возможно выделение, так называемых, пучков траекторий, соответствующих посадкам на определённые ВПП. В выделенных пучках определяются центральные и, так называемые, посторонние (граничные или потенциально опасные) траектории (см. Рис. 1). Потенциально опасные траектории наиболее удалены от центральных по мере косинуса, которая является экспериментальной мерой сходства траекторий движения, учитывающей особенности пространственной геометрии многомерных траекторий (их пересечения, кривизну и кручение).

Пучки траекторий выделяются в выборке 38 траекторий, полученной в результате первичного разбиения набора 117 посадочных траекторий (данные зафиксированы радиолокационной системой TRACON над заливом Сан-Франциско) по методу полиномиальных регрессий на основе евклидовой меры расстояния [2], в результате применения спектрального метода с использованием полярной кривизны (см. Рис.1). При этом выборка многомерных векторов моделируется объединением  $d$ -мерных аффинных подпространств [3], а подобие векторов оценивается многомерным тензором близости порядка  $(d + 2)$ , который

развертывается в матрицу близости (подобия) векторов, и анализируется спектральным методом [4].

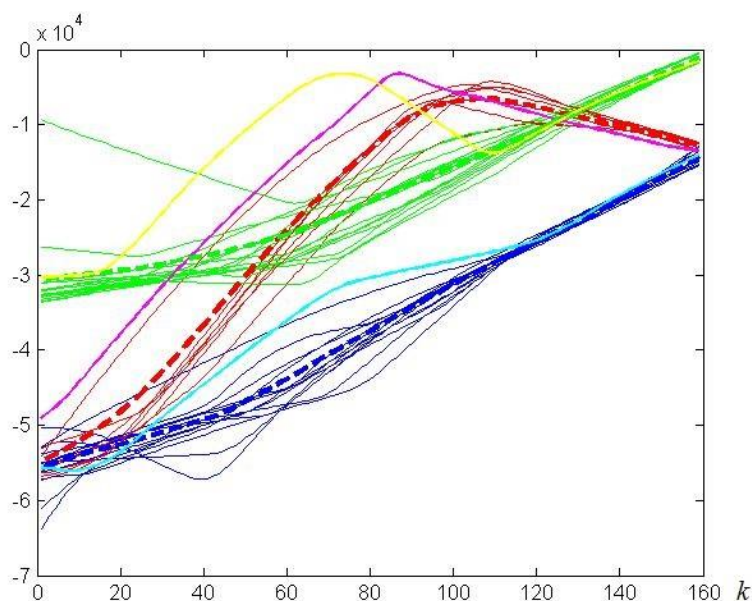


Рис.1. Спектральная кластеризация  $x$ -проекций траекторий анализируемой выборки. Пунктиром обозначены центральные траектории. Жёлтым, розовым и голубым цветом выделены посторонние траектории в выделенных зелёном, красном и синем пучках соответственно.

#### Литература

1. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations (1959–2013). P.10-12, 20. Boeing, 2014.
2. Кухаренко Б.Г., Солнцева М.О. Кластеризация управляемых объектов на основе сходства их многомерных траекторий. // Информационные технологии. 2014. №5. С.3–7.
3. Zhang T., Szlam A., Wang Y., Lerman G. Hybrid linear modeling via local best-fit flats. // International Journal of Computer Vision. 2012. V.100, No.3. P.217–240.
4. Ng A., Jordan M., Weiss Y. On spectral clustering: Analysis and an algorithm. / Dietterich T., Becker S. Ghahramani Z., eds. Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge, MA: MIT Press. 2002. V.14. P.1-8.