Изменяемый стереобазис бортовой оптоэлектронной системы беспилотных аппаратов: теоретическая модель погрешности определения дальности

Гуламзаде С. Н.
Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана (МАКА), Баку

24-я Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, Москва, 9–13 ноября 2026 г.
Стендовый доклад

Задача и что уже известно

- Стереофотограмметрические системы беспилотных летательных и наземных аппаратов определяют пространственные координаты объектов пассивно, при малой массе и стоимости.
- При фиксированном стереобазисе погрешность определения дальности быстро растёт с дальностью. Поэтому рассматривается бортовая оптоэлектронная система, в которой базис изменяется механически по текущей оценке дальности.
- В литературе уже описаны: адаптация базиса к дальности (Fanto, 2012; Nakabo et al., 2005; Sanket et al., 2021); пропорциональная дальности политика его выбора (Nakabo et al., 2005; Sanket et al., 2021); внутренний оптимум базиса при погрешности, растущей с его длиной, и ближняя зона, где погрешности взаимного положения камер лишают широкий базис преимущества (Wang, Dong, 2025).

Пробел. В просмотренных источниках не найдено учёта погрешностей подвижной каретки (люфта, рыскания направляющих и его зависимости от направления подхода) ни в самом правиле выбора базиса, ни в сравнении с жёсткой многобазовой схемой.

Теоретическая модель неопределённости дальности

Построена модель неопределённости измерения дальности системой с механически перестраиваемым базисом. Модель учитывает:

- погрешность сопоставления изображений и её деградацию с выбросами;
- ограничения перекрытия полей зрения и диапазона диспаритета;
- конечную скорость привода и запаздывание контура управления;
- калибровочный дрейф, остаточный люфт и угловую составляющую каретки.

Все соотношения проверены на согласованность размерностей.

Как и в известных схемах (Fanto, 2012; Hasegawa et al., 2000; Nakabo et al., 2005), требования перекрытия и диапазона диспаритета задают верхнюю границу базиса, пропорциональную дальности.

Основные теоретические выводы

- В статическом случае при монотонных критериях пропорциональная политика оптимальна **лишь условно**, как движение по активной границе. Доказанным оптимумом в общем случае она не является: её линейность нарушают, в частности, абсолютная погрешность знания базиса и зависимость сцены от дальности.
- Выигрыш изменяемого базиса над лучшим фиксированным по диспаритетному члену ограничен отношением максимального базиса к допустимому базису на минимальной дальности. Он исчезает, если весь рабочий диапазон лежит выше дальности насыщения.
- При гипотетических параметрах малого беспилотного летательного аппарата адаптивная полоса ограничена ближней зоной в несколько метров. На высотах аэрофотосъёмки изменяемый базис геометрически не отличается от фиксированного.
- Получена аналитическая граница безубыточности по рысканию каретки относительно жёсткой фиксированной пары камер: в правдоподобной области параметров выигрыш изменяемого базиса по рысканию возможен только на дальностях выше этой границы.

Статус проверки и ограничения

- Прогноз сформулирован до моделирования. Критерии его опровержения и план имитационного моделирования методом Монте-Карло зарегистрированы заранее; проверка по этому плану выполнена, её результаты в тезисах не приводятся и будут представлены отдельно.
- Требования к каретке и приводу, следующие из модели, в тезисах не рассматриваются.
- Конструкция, на которую подана заявка на полезную модель, не изготавливалась.
- Все выводы теоретические, модельно-условные и получены при гипотетических параметрах.

Литература

1. Fanto P.L. Automatic Positioning and Design of a Variable Baseline Stereo Boom: M.S. Thesis. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012. 117 p. http://hdl.handle.net/10919/34170.
2. Hasegawa H., Matsuo K., Koarai M., Watanabe N., Masaharu H., Fukushima Y. DEM Accuracy and the Base to Height (B/H) Ratio of Stereo Images // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 2000. V. XXXIII. Pt. B4. P. 356–359.
3. Nakabo Y., Mukai T., Hattori Y. et al. Variable Baseline Stereo Tracking Vision System Using High-Speed Linear Slider // Proc. 2005 IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation (ICRA). 2005. P. 1567–1572. DOI: 10.1109/ROBOT.2005.1570337.
4. Sanket N.J., Singh C.D., Asthana V. et al. MorphEyes: Variable Baseline Stereo For Quadrotor Navigation // 2021 IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation (ICRA). 2021. P. 413–419. DOI: 10.1109/ICRA48506.2021.9561116.
5. Wang Z., Dong W. Long-Range Dense Mapping With Enhanced Accuracy via a Flying Variable-Baseline Stereo System // IEEE Sensors J. 2025. V. 25. No. 18. P. 35131–35143. DOI: 10.1109/JSEN.2025.3596433.