**Аннотация**

Описывается метод восстановления траектории магистрального трубопровода (МТ) на короткой дистанции до 5 километров средствами внутритрубного роботизированного диагностического комплекса (ВРДК). Метод восстановления траектории представляет кооперативную одометрию двух и более роботов и основывается на обнаружении реперных маркеров, в соответствии с идеей совместного позиционирования. Представлены характеристики метода и дано заключении о пригодности метода для использования в задачах локализации ВРДК.

**Введение**

В настоящее время известен ряд неоптических методов восстановления траектории МТ. Среди прочих наиболее популярны следующие методы: наземное геодезическое позиционирование трубопровода, применение инерциальных навигационных систем.

Наземное геодезическое позиционирование трубопровода (НГПТ) включает комплекс работ по определению местоположения трубопроводов, начиная с создания опорной геодезической сети и заканчивая созданием карт. Метод обеспечивает высокое качество определения пространственных координат съемочных точек, однако обладает высокой трудоемкостью и низкой автономностью.

Широкое применение для задач навигации внутритрубных инспекционных приборов (ВИП) находят инерциальные навигационные системы (ИНС) ввиду их высокой автономности. Работа ИНС основана на измерении линейных ускорений *а* и угловых скоростей *w* относительно трех осей устройства. Вычислительный блок ИНС преобразует измеренные скорости и ускорения в местоположение инерциального измерительного блока (англ. Inertial Measurement Unit, IMU). Метод обеспечивает высокую точность локализации, однако подвержен накоплению ошибки.

Оптические методы восстановления траектории МТ средствами ВИП зависят от конфигурации камеры (монокулярная, стререоскопическая или многокамерная) и должны учитывать объем знаний о структуре внутренней поверхности МТ.

Идея совместного позиционирования предполагает наличие робототехнического комплекса, включающего два и более робота, где одни роботы используются в качестве движущихся ориентиров, а другие – для их обнаружения. Данный метод позволяет мобильной робототехнической системе локализовать себя в слабоструктурированной среде, лишенной достаточного количества выделяемых признаков.

**1 Оптические методы восстановления траектории на основе идеи совместного позиционирования**

Оптические методы локализации можно разделить на две группы: первая, маркерная, опирается на некоторые обнаруживаемые визуальные ориентиры, такие как реперные маркеры или модели 3D-сцены с известными координатами ключевых точек. Вторая группа работает без каких-либо знаний о 3D-сценах.

Визуальные методы локализации роботов с применением реперных маркеров предполагают использование монокулярных камер, а точность локализации зависит от :

1. Точности определения двумерных координат маркеров на изображении

2. Алгоритма, используемого для оценки пространственных координат маркера

3. Алгоритма, используемого для реализации пространственной локализации роботов

В отличие от маркерной группы, безмаркерная группа требует сцену с богатой текстурой, хорошую освещенность и характеризуется накоплением ошибки ввиду инкрементной природы оценки относительной позы между кадрами камеры на основе статических характеристик сцены. С другой стороны, главное преищущество безмаркерной группы состоит в том, что не требуются дополнительные реперные маркеры для локализации, а достаточно будет тех ключевых точек, которые уже присутствуют в среде.

Идея совместного позиционирования была исследована в работе R. Kurazume, где было показано резкое ускорение и повышение точности локализации каждого робота. Идея совместной визуальной одометрии на основе мобильных визуальных маркеров была опубликована R. Acuna и др.

В своей работе R. Acuna и др. предлагают схему совместной визуальной одометрии в реальном времени на основе мобильных визуальных маркеров (англ. Mobile Marker, MOMA), который сохраняет точность локализации роботов. Работа R. Acuna реализует случай, когда ориентиры являются визуальными реперными маркерами, например, маркеры ArUco, которые можно обнаружить с помощью монокулярной камеры.

По R. Acuna и др. MOMA – это маркер, который в любой момент времени имеет два возможных настраеваемых состояния: мобильное состояние, если маркер перемещается или ему разрешено перемещаться, и статическое – в противном случае. Наблюдатель определяется как объект, который выполняет обнаружение и оценку положения маркера, то есть камера.

Положение точки *G* в трехмерном пространстве в однородном представлении задается вектором перемещения и матрицей поворота . Дописать G.

Известные трехмерные координаты маркера задаются вектором . Оценка положения, основанная на визуальных маркерах, использует известные неподвижные маркеры *M* для определения абсолютной позы Gtc камеры C в некоторый момент времени t, в мировых координатах Xw. Предполагается, что положение фиксированного маркера в мировых координатах Gm известно, а также структура маркера определена и легко обнаруживается. Как только маркер обнаружен, мы можем оценить относительную позу Gt маркера относительно камеры, и получить позу камеры относительно мира Gtc.