DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(1)-4

Интеллектуальный метод автоматического отслеживания объектов путем интеграции лазерного сканирования и инерциальной навигации

Х.С. Родригес-Киньонес, ORCID: 0000-0002-1830-0226 <julio.rodriguez81@uabc.edu.mx>
Автономный университет Нижней Калифорнии (UABC),
Мексика, 21100, Нижняя Калифорния, Энсенада

Аннотация. За последние годы автономная мобильная навигация была значительно усовершенствована; однако эта технология все еще не может быть эффективно интегрирована с мобильными системами, которые функционируют внутри производственных зданий и жилых домов, а также без абсолютной привязки к местности, обеспечиваемой, например, GPS. По этой причине в настоящей статье представлена методика, позволяющая интегрировать методы обнаружения объектов, такие как YOLO или R-CNN, с системами лазерного сканирования для измерения пространственных координат и инерциальной навигационной системой для пространственного позиционирования путем привязки к позициям других объектов. В нашем подходе объединяется принцип динамической триангуляции и методика IKZ, которые позволяют получить приемлемое время автономного функционирования мобильного устройства перед тем, как потребуется повторное сканирование окружающих объектов.

Ключевые слова: инерциальные навигационные системы; IKZ; сверточные нейронные сети

Для цитирования: Родригес-Киньонес Х.С. Интеллектуальный метод автоматического отслеживания объектов путем интеграции лазерного сканирования и инерциальной навигации. Труды ИСП РАН, том 33, вып. 1, 2021 г., стр. 59-64. DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(1)-4

Intelligent Automatic Object Tracking Method by Integration of Laser Scanner System and INS

J.C. Rodríguez-Quinones, ORCID: 0000-0002-1830-0226 <julio.rodriguez81@uabc.edu.mx>
Universidad Autónoma de Baja California,
Ensenada, Mexico, 21100

Abstract. In the last years, autonomous vehicle navigation has had considerable improvements; however, this technology has not yet been able to effectively be integrated with mobile systems that work inside buildings, houses or without the influence of absolute references such as GPS. It is for this reason that this paper provides a methodological proposal that allows the integration of the use of object detection methods such as YOLO (You Only Look Once) or R-CNN (Region Convolutional Neural Networks), with laser scanning systems for the measurement of spatial coordinates and an INS system to obtain spatial positioning through relative references. This method integrates the principle of dynamic triangulation and the methodological proposal IKZ (Inertial Navigation with Kalman and Zero Update) that allow to obtain acceptable mobile autonomy times in which the sector of interest is re-scanned.

Keywords: inertial navigation systems; IKZ; convolutional neural networks

For citation: Rodríguez-Quinones J.C. Intelligent Automatic Object Tracking Method by Integration of Laser Scanner System and INS. Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 33, issue 1, 2021, pp. 59-64 (in Russian). DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(1)-4.

1. Введение

Поиск и отслеживание являются важными задачами для мобильного робота, например, для помощи людям, поиска объектов, автоматической транспортировки и выполнения аварийно-спасательных работ. Использование лазерных сканеров является одним из эффективных подходов к получению пространственных координат отслеживаемого объекта, и для этого полезно применять системы технического зрения (Technical Vision System, TVS) с динамической триангуляцией [1]. Тем не менее, одних этих систем недостаточно для идентификации объектов, представляющих интерес.

Одним из эффективных подходов к решению такого рода задач является использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN). В последнее время CNN продемонстрировали отличные результаты в различных областях: распознавание образов, классификация и сегментация изображений [2], [3]. В том числе, CNN успешно используются и в системах трекинга, обеспечивая высокую точность отслеживания.

Однако в последние годы для решения задач обнаружения наиболее часто используется метод YOLO (You Only Look Once) [5]. В нашей работе в качестве метода обнаружения используется именно YOLO, однако предлагаемый подход может быть реализован с использованием и других методов обнаружения объектов.

Вместе с тем, в большинстве современных мобильных систем слежения берутся в расчет только обнаружение интересующего объекта и следование за ним без планирования пути. Эффективным подходом к обеспечению этой недостающей возможности является применение инерциальных навигационных систем (Inertial Navigation System, INS), в которых изменения показаний на коротких промежутках времени датчиков должны быть незначительными, а интересующий объект может использоваться в качестве абсолютного ориентира. С целью получения эффективного метода поиска и слежения предлагается методика интеграции TVS, обнаружения объектов и INS.

Рис 1. Блок-схема предлагаемого метода
Fig 1. Flow Diagram of the proposed Method

2. Метод

В нашей работе для создания мобильного робота, способного отслеживать определенные объекты или людей, сводится воедино функционирование трех датчиков. Первый датчик – это камера, которая предоставляет изображения RGB для определения местоположения интересующего объекта в зоне съемки. Второй датчик представляет собой систему лазерного сканирования, которая обеспечивает информацию об относительных координатах интересующего объекта, а также информацию о навигационной среде. Третьим датчиком является IMU (Inertial Measurement Unit, инерциальный измерительный блок) с акселерометром, гироскопом и магнитометром, используемый в INS (инерциальная навигационная система) в сочетании с IKZ (Inertial navigation with Kalman and Zero Update, инерциальная навигация с фильтром Калмана и нулевым обновлением) [4].

Такая схема организации системы позволяет определять местонахождение объекта в режиме реального времени, определять расстояние до него, передавать навигационное задание в систему INS-IKZ, что позволяет обнаруживать препятствия с помощью TVS. Рис. 1 демонстрирует, как происходит интеграция информации и принятие решения.

3. Моделирование

Чтобы определить, как себя поведет предложенный подход, необходимо промоделировать различные сценарии работы, для чего учитываются следующие параметры: скорость обнаружения объекта, скорость сканирования с разными угловыми шагами и автономность системы IKZ в секундах. Скорость обнаружения объекта с помощью YOLO V3 может быть оценена по табл. 1, а время позиционирования лазерного сканера с использованием принципа динамической триангуляции – по табл. 2.

Табл. 1. Скорость обнаружения объекта с использованием YOLO V3 [5]

Table 1. Object detection velocity using YOLO V3 [5]

Размер изображения	Yolo V3
320x320 pix	22 мс
416 x 416 px	29 мс
608 x 608 px	51 мс

Табл. 2. Скорость позиционирования лазера при различных угловых перемещениях [6]

Table 2. Positioning Laser Speed at different angular displacements [6]

Угловое перемещение	Yolo V3
2°	10.93мс
5°	52.3мс

Чтобы получить не менее 11 точек на метр, что достаточно для мобильного робота, описанного в работе Басака-Пресиадо (Luis Carlos Básaca-Preciado) и др. [7], при позиционировании лазера предлагается использовать разрешение 5° и 2°. Для демонстрации работы системы в целом представлен алгоритм (листинг 1), описывающий взаимодействие методов обнаружения объектов, триангуляции и управления мобильным роботом.

```
while task is not complete do
do
    Input Image_Scene
    Call: Position = Yolo (Roi)
while (Object is not detected)
Set PL to Position
Call: distance = Triangulation ()
if distance is greater than delta then
do
```

```
move Mobile to Position
calculate current_Position = IKZ ()
while (abs (Position - current_Position) is greater than delta)
end
end
end
```

Листинг 1. Взаимодействие систем

Listing 1. Interaction of the systems

Следует отметить, что в каждом методе используется группа датчиков со своим собственным временем отклика (например, в триангуляционных системах применяются позиционирующий лазер и сканирующая апертура, а для систем INS требуется постоянный мониторинг на основе акселерометров и гироскопов), и реализации каждой из этих систем присущи свои собственные проблемы, которые обсуждались в [4], [7-11]. Однако для интеграции всего этого в единую систему, которая позволяет мобильному устройству двигаться к цели, требуется знание различных сценариев.

Было рассмотрено 105 сценариев с использованием различных возможных скоростей из табл. 1, различных углов позиционирования из табл. 2 и различных ситуаций позиционирования, когда система перемещается между 2° и 55° в поле зрения и время сканирования составляет 295-576 мс (в зависимости от величины шага сканирования). Упрощенная таблица этого моделирования показана в табл. 3.

Табл. 3. Упрощенная таблица различных временных сценариев совместного использования

обнаружения объектов и сканирования секторов

Table 3. Simplified table of different time scenarios of conjunction use of object detection and sector scanning

Метод	ΔYolo (мс)	Шаг позиционирования лазера	Время шага (мс)	Число шагов	Время (мс)
YoloV3-320	22	2°	10.93	1	327.93
YoloV3-416	29	2°	10.93	1	334.93
YoloV3-608	51	2°	10.93	1	356.93
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
YoloV3-608	51	5°	52.4	5	889
YoloV3-320	22	5°	52.4	6	912.4

Как показывает табл. 3, время выполнения как примерно 300 – 1000 мс, и ниже или выше этого диапазона находятся только несколько исключений; гистограмма частот для всех 105 случаев представлена в таблице 4.

Табл. 4. Частотная гистограмма времен обнаружения и сканирования для 105 сценариев

Table 4. Frequency histogram of detection and scanning time for the 105 scenarios

Время в мс	Частота
350	5
470	32
590	33
710	16
830	6
950	7
1070	7
1190	7
И свыше...	1

Как упоминалось ранее, только несколько результатов превышают 1000мс, однако это время не является критическим фактором, влияющим на автономность мобильного робота,

поскольку IKZ может точно определять положение мобильного устройства с интервалами до 25 секунд до того, как потребуются абсолютные координаты [4].

4. Заключение

В настоящей статье представлено предложение по интеграции системы обнаружения объектов, системы лазерного сканирования и инерциальной навигационной системы для отслеживания объектов мобильным роботом. В качестве метода обнаружения объектов предлагается использовать YOLO, однако может использоваться разновидность CNN или какой-либо другой метод обнаружения объектов, если его можно применять в реальном времени (или на скорости более 20 кадров в секунду).

Предлагаемая методика чередует обнаружение объектов, сканирование сцены и систему IKZ для определения текущего положения мобильного объекта. Используемый метод IKZ имеет время автономной работы около 20 секунд до появления ухода гироскопа, поэтому за время обнаружения и сканирования обеспечивается своевременная информация для планирования маршрута с использованием IKZ.

Список литературы / References

- [1]. Trujillo-Hernández G., Rodríguez-Quíñonez J.C., Ramírez-Hernández L.R. et al. Accuracy Improvement by Artificial Neural Networks in Technical Vision System. In Proc. of the 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, vol. 1, 2019, pp. 5572-5577.
- [2]. Rohan A., Rabah M., & Kim S.H. Convolutional Neural Network-based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2. IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 69575-69584.
- [3]. Жданов А.Д., Жданов Д.Д., Богданов Н.Н. и др. Проблемы дискомфорта зрительного восприятия в системах виртуальной и смешанной реальности. Программирование, том 45, no. 4, 2019 г., стр. 9-18 / Zhdanov A.D., Zhdanov D.D., Bogdanov N.N. et al. Discomfort of Visual Perception in Virtual and Mixed Reality Systems. Programming and Computer Software, vol. 45, no. 4, 2019, pp. 147-155.
- [4]. Castro-Toscano M.J., Rodríguez-Quíñonez J. C., Hernández-Balbuena D. et al. (2018). Obtención de Trayectorias Empleando el Marco Strapdown INS/KF: Propuesta Metodológica. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, vol. 15, num. 4, 2018, pages. 391-403 (in Spanish)..
- [5]. Li W., Wei W., Qiang H., & Shi M. Collaborating visual tracker based on particle filter and correlation filter. Concurrency and Computation: Practice and Experience, vol. 31, no. 12, 2019, e4665.
- [6]. Reyes-García M., Sergiyenko O., Ivanov M. et al. Defining the Final Angular Position of DC Motor shaft using a Trapezoidal Trajectory Profile. In Proc. of the 28th IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2019, pp. 1694-1699.
- [7]. Básaca-Preciado L.C., Sergiyenko O.Y., Rodríguez-Quíñonez J.C. et al. Optical 3D laser measurement system for navigation of autonomous mobile robot. Optics and Lasers in Engineering, vol. 54, 2014, pp. 159-169.
- [8]. Ivanov M., Lindner L., Sergiyenko O. et al. Mobile Robot Path Planning Using Continuous Laser Scanning. In Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications, IGI Global, 2019, pp. 338-372.
- [9]. Иванов М.В, Сергиенко О.Ю., Тырса В.В. и др. Интеграция беспроводной связи для оптимизации распознавания окружения и расчёта траектории движения группы роботов. Труды ИСП РАН, том 31, вып. 2, 2019 г., стр. 67-82. DOI: 10.15514/ISPRAS-2019-31(2)-6 / Ivanov M., Sergiyenko O., Tyrsa V. et al. Software Advances using n-agents Wireless Communication Integration for Optimization of Surrounding Recognition and Robotic Group Dead Reckoning. Programming and Computer Software, vol. 45, no. 8, 2019, pp. 557-569.
- [10]. Lindner L., Sergiyenko O., Rodríguez-Quíñonez J.C. et al. Continuous 3D scanning mode using servomotors instead of stepping motors in dynamic laser triangulation. In Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2015, pp. 944-949.
- [11]. Real-Moreno O., Castro-Toscano M.J., Rodríguez-Quíñonez J.C. Implementing k-Nearest Neighbor Algorithm on Scanning Aperture for Accuracy Improvement. In Proc. of the 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2015, pp. 3182-3186.

Информация об авторе / Information about the author

Хулио Сесар РОДРИГЕС-КИНЬОНЕС, кандидат наук, профессор электроники на инженерном факультете. Область научных интересов: автоматизированная метрология, системы стереозрения, системы управления, роботизированная навигация и лазерные 3D-сканеры.

Julio César RODRÍGUEZ-QUIÑONEZ, PhD, Professor of Electronic Topics with the Engineering Faculty. Research interests: automated metrology, stereo vision systems, control systems, robot navigation and 3D laser scanners.