

УДК 004.8

АДАПТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ МАНЁВРОВ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ НА ПЛАТФОРМЕ APOLLO

М. Жамал (*mayssjamal@phystech.edu*)¹

А.И. Панов (*panov.ai@mipt.ru*)^{1,2}

¹ Московский Физико-Технический Институт, Долгопрудный

² Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва

Аннотация. В системах автономного вождения планирование поведения играет критическую роль. При наличии множества динамических препятствий алгоритм планирования должен быть безопасным и адаптируемым к изменениям условий вождения. В данной работе представлен алгоритм адаптивного планирования манёвров, основанный на эволюционирующем поведенческом дереве, обновляемом с помощью генетического программирования. Алгоритм был протестирован на платформе Apollo управления беспилотных автомобилей.

Ключевые слова: планирование манёвра, поведенческие деревья, беспилотный транспорт, Apollo platform, генетическое программирование.

Введение

Планирование маневров является одной из основных задач в системах автономного вождения. В непредсказуемых условиях планировщик должен выбрать наилучшее безопасное решение. Неправильное решение ставит под угрозой не только жизни пассажиров самого транспортного средства, но и жизни пешеходов и пассажиров других ближайших автомобилей.

Конечный автомат [Urmsen et al., 2008] является ранним подходом к интеллектуальному планированию манёвров беспилотного автомобиля (БА). Среди последних подходов [Ulbrich et al., 2013] можно выделить вероятностны методы, такие, как Марковские процессы принятия решений. Такие методы основаны на поиске оптимальной стратегии, которая максимизирует некоторую функцию вознаграждений выполнения действия. Благодаря своей гибкости, реактивности и модульности, поведенческие

дерева (ДП) [Lovino et al., 2020] является эффективным инструментом для планирования манёвров агента. Поскольку объем дерева увеличивается пропорционально сложности системы планирования, в данной работе предлагается найти оптимальную структуру дерева с помощью генетического программирования.

1 Постановка задачи

В качестве примера планирования манёвра мы рассматриваем принятие решения о манёвре обгона. Мы используем генетическое программирование (ГП), чтобы найти лучшую структуру поведенческого дерева. Структура дерева обозначается строкой символов x . Для нахождения лучшей структуры ДП манёвра обгона решается задача оптимизации функции приспособленности с помощью алгоритма ГП, где строка x^* обозначает программу дерева поведения обгона с максимальным значением функции приспособленности:

$$f(x) \rightarrow \max: \text{ найти } \vec{x}^* \text{ где } \forall \vec{x} \in G: f(x) \leq f(\vec{x}^*) = f^*$$

где G - пространство генотипов.

2 Метод решения

Узлы действия, условия и управления являются примитивами поведенческого дерева. Существует три возможных действия: “Сохранить полосу движения”, “Перестроиться влево” и “Перестроиться вправо”. Узел управления может быть последовательностью (sequence) или узлом выбора (selector). Условные узлы задают состояние окружающей среды и включают в себя: диапазон скоростей БА, диапазон скоростей препятствия, полосу движения и зону на полосе, на которой находится препятствие. Каждый узел обозначается символом, структура дерева поведения обозначается строкой последовательности символов.

Алгоритм начинает работу с некоторой начальной популяцией (множество особей), далее для каждой особи происходит декодирование строки-особи в структуру ДП, и затем оценивается её приспособленности на симуляторе Apollo. Новое поколение формируется следующим образом: выбираются 10% лучших по приспособленности особей предыдущей популяции и 90% новых особей после размножения. Для размножения отбирается μ пар особей (родителей) на основании их приспособленности методом бинарного турнира. Отобранные особи изменяются через операцию скрещивания (crossover) или операцию мутации (mutation) с определенной вероятностью. После формирования новой популяции начинается новая итерация с оцениванием приспособленности особей новой популяции на симуляторе Apollo.

Приспособленность каждой особи определяется двумя факторами: достижением цели без столкновения и временем достижения при использовании программы ДП, которую обозначает строка-особь. Если особь (ДП) вызвала столкновение, ей будет присвоено отрицательное значение приспособленности. Если цель достигнута без столкновения, приспособленность определяется разницей между временем выполнения действия “Сохранить полосу движения” T^{a_0} , и временем выполнения действия вывода дерева T^{a_x} : $f(x) = T^{a_0} - T^{a_x}$.

В результате, ДП, которое приводит к обгону и более быстрому достижению цели без столкновения, будет присвоено высокое значение пригодности, а ДП, который приводит к действию “Сохранить полосу движения”, будет присвоено значение приспособленности, близкое к нулю.

3 Результаты экспериментальных исследований

Сценарий обгона включает в себя три полосы на многополосном шоссе, при этом БА всегда находится в средней полосе. Существует переднее препятствие с начальным расстоянием 20 м и со случайной скоростью в диапазоне от 2,7 до 5,5 м/с. Есть также 5 препятствий, расположенных случайным образом на соседних полосах движения. Соседние препятствия движутся со случайной скоростью (от 2,7 до 6,5 м/с).

Алгоритм начинается со случайной первой популяцией; после 50 поколений все особи популяции (структуры) достигли цели, не столкнувшись ни с одним из препятствий. Также в популяции появилось несколько структур дерева с успешным обгоном.

При запуске алгоритма с популяцией, содержащей одно ДП, которое включает действие обгона, 75% популяции достигло цели, выполнив манёвра обгона. Это показывает, что генетический алгоритм динамически приближается к оптимальному значению приспособленности. Алгоритм оптимизирует функцию приспособленности, развивая деревья, которые выводят действие обгона для более быстрого достижения цели.

Список литературы

- [Urmson et al., 2008] Urmson, C., Anhalt, J., Bagnell, D., Baker, C., Bittner, R., Clark, M., Dolan, J. Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge // Journal of Field Robotics 25. С. 425 – 466. 2008.
- [Ulbrich et al., 2013] Ulbrich, S., Maurer, M. Probabilistic online pomdp decision making for lane changes in fully automated driving // Proc. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013). P. 2063 - 2067. 2013.
- [Iovino et al., 2020] Iovino, M., Styruud, J., Falco, P., & Smith, C. Learning behavior trees with genetic programming in unpredictable environments // arXiv preprint arXiv:2011.03252. 2020.