ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ УЛУЧШЕННОГО АЛГОРИТМА RRT НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛЯ

RESEARCH ON PATH PLANNING OF IMPROVED RRT ALGORITHM BASED ON ARTIFICIAL POTENTIAL FIELD

Чжан Чэнпэн, Студент, Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана.

Zhang Chengpeng, Student, Bauman Moscow State Technical University.

Аннотация

Традиционные алгоритмы планирования пути, такие как алгоритм искусственного потенциального поля, алгоритм RRT, алгоритм отжига и т. д., больше не могут быть удовлетворены современными исследованиями планирования маршрутов роботов. По мере развития новые алгоритмы постоянно заменяются или улучшаются, а традиционные алгоритмы постоянно оптимизируются в соответствии с требованиями. Основываясь на исследовании двух алгоритмов искусственного потенциального поля и RRT, в данной статье предлагается метод, сочетающий в себе преимущества двух алгоритмов. Управляемый потенциальным полем, он указывает направления для

продолжения пути и избегает экстремальных значений. За счет дополнения двух алгоритмов метод планирования пути оптимизируется, моделируется и анализируется.

Summary

Traditional path planning algorithms, such as artificial potential field algorithm, RRT algorithm, annealing algorithm, etc., can no longer be satisfied with modern robot path planning research. With the development, there are constantly new algorithms to replace or improve, and the traditional algorithms are continuously optimized to meet the requirements. Based on the research of two algorithms of artificial potential field and RRT, this paper proposes a method that combines the advantages of the two algorithms. Guided by the potential field, it provides directions for the path extension and avoids extreme values. Through the complementation of the two algorithms, the path planning method is optimized and simulated and analyzed

Ключевые слова: алгоритм RRT, Алгоритм искусственного потенциального поля, Алгоритм Fusion, matlab, Оптимизация алгоритма.

Keywords: RRT algorithm, Artificial potential field algorithm, Fusion algorithm, matlab, Algorithm optimization.

Алгоритм быстрого поиска случайного дерева

Алгоритм RRT (Rapidly-Exploring Random Tree) - это алгоритм планирования пути на основе выборки, часто используемый при планировании пути мобильного робота, подходящий для решения задач планирования

многомерного пространства и пути при сложных ограничениях. Основная идея состоит в том, чтобы искать целевую точку по длине шага, генерируя случайные точки, эффективно избегая препятствия, не допуская попадания траектории в локальный минимум и быстро сходясь.

Основные принципы алгоритма RRT

GENERATE_RRT(x_{init},K,Δt)

1.T.init(x_{init});

2.for k =1 to K do

3.if($\|x_{new} - x_{goal}\|$<d)

4. break;

5. x_{rand} ⇐RANDOM_STATE();

6. x_{near} ⇐NEAREST_NEIGHBOR(x_{rand}, T);

7. u ⇐SELECT_INPUT(x_{rand}, x_{near});

8. x_{new} ⇐NEW-STATE($x_{near}, u, \Delta t$)

9. judge(x_{new});

10. if(judge(x_{new})== false and colisionfree()== false)

11. continue;

12. T.add_vertex(x_{new});

13. T.add_edge(x_{near}, x_{new}, u)

14.return T

Функция RANDOM_STATE () генерирует случайные точки в заданном

окружении.

Функция NEAREST_NEIGHBOR () просматривает случайное дерево и находит узел, ближайший к случайной точке.

Функция SELECT_INPUT () разворачивает случайное дерево в соответствии с заданным значением.

Функция NEW_STATE () генерирует x_{new}

judge (x_{new}) определяет, удовлетворяет ли вновь сгенерированный узел неголономному ограничению

T.add_vertex () вставитьx_{new}

T .add _ edge (x_{near}) - добавить ребро между x_{new}

Моделирование алгоритма может быть выполнено с помощью Matlab, как показано на рисунке ниже:



рис 1



рис 2

После многих испытаний моделирования, прямоугольные препятствия делают планирование пути трудными и время поиска больше, со средним временем около 80 секунд.

Результаты моделирования круговых препятствий показаны на рисунках 3 и 4:

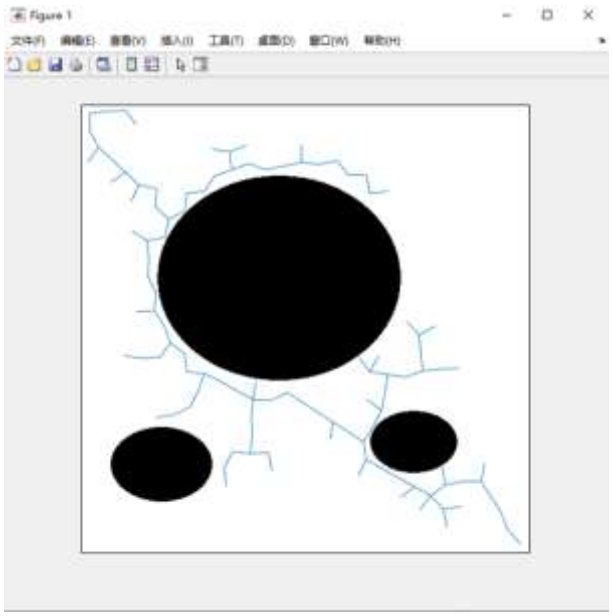

рис 3

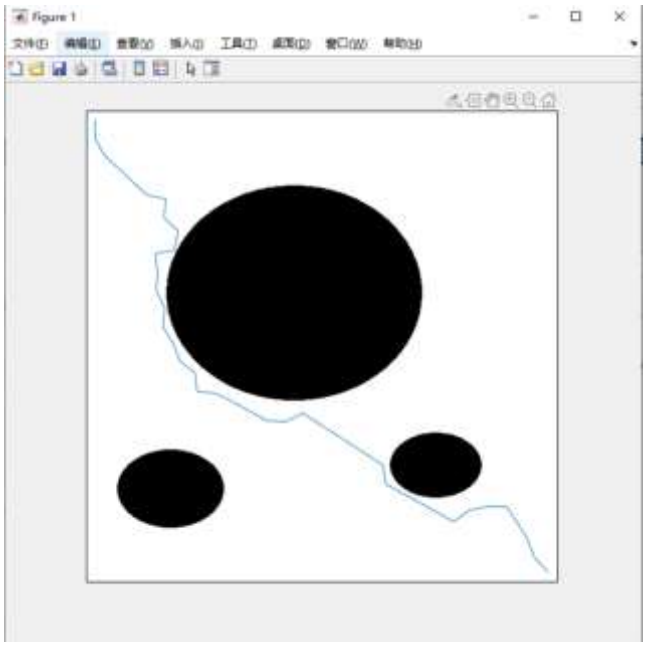

рис 4

После многих симуляций круговые препятствия уменьшают сложность планирования пути, и время нахождения пути составляет около 10 секунд. Конечно, это также связано с разницей в плотности установленных препятствий.

Моделирование растровой карты

Разделите пространство состояний на несколько прямоугольных областей, пронумеруйте разделенные прямоугольники соответственно слева направо и сверху вниз и сделайте соответствующие определения:

grad (x, y) представляет собой x-ю строку и y-й столбец растровой карты.

grad (x, y) = 0 означает, что в сетке нет препятствий, grad (x, y) = 1 означает, что препятствия есть.

neighbor $(x, y) = \{\text{grid}(i, j) \parallel i - x| \leq 1, |j - y| \leq 1, (i, j) \neq (x, y)\}$

представляет собой сетка Набор из 8 полей решетки.

neighbor $(x, y) = \{\text{grid}(i, j) \parallel i - x| \leq 1, |j - y| \leq 1, (i, j) \neq (x, y)\}$ означает

сетку A набор из 8 доменов, которые могут проходить через сетку

path $= \{\text{grid}_1(x_1, y_1), \text{grid}_2(x_2, y_2), \ldots, \text{grid}_n(x_n, y_n)\}$ представляет набор сеток, содержащийся в наборе точек пути с количеством сеток n от grid1 до конца сетки.

Этот улучшенный метод подходит для глобального планирования в большом пространстве задач карты. Дискретизируйте пространство задач в карту сетки. Предполагая, что каждая сетка представляет собой пространство, намного превышающее площадь кузова автомобиля, сетки окрестностей с 8 направлениями каждой сетки в пространстве подходят для умных автомобилей в условиях барьера.

После того, как карта будет растеризована, выберите начальную и конечную точки и поместите их в разные сетки соответственно, а затем случайным образом используйте определенную долю препятствий, чтобы они упали на карту сетки, при этом убедитесь, что начальная точка и конечная точка не могут быть затронуты препятствиями. Таким образом, длина шага поиска пути - это расстояние между двумя соседними сетками. При вычислении направление пути определяется путем оценки наличия препятствий в 8 сетках вокруг узла.

Процесс моделирования показан на рисунках 5 и 6:

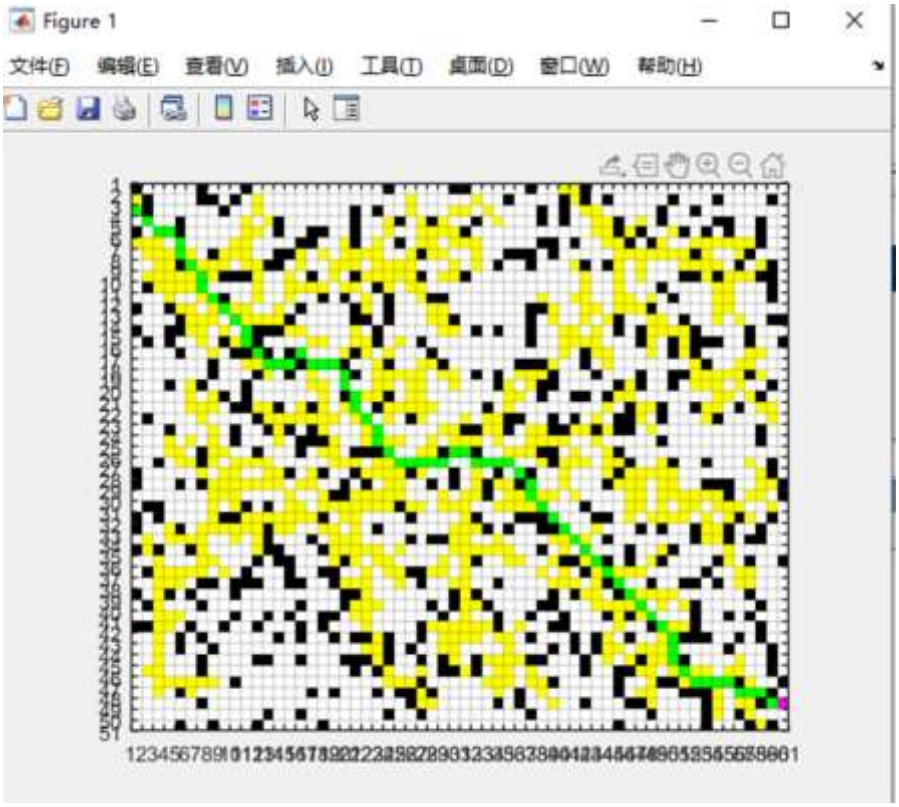
Figure 1
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)

рис 5

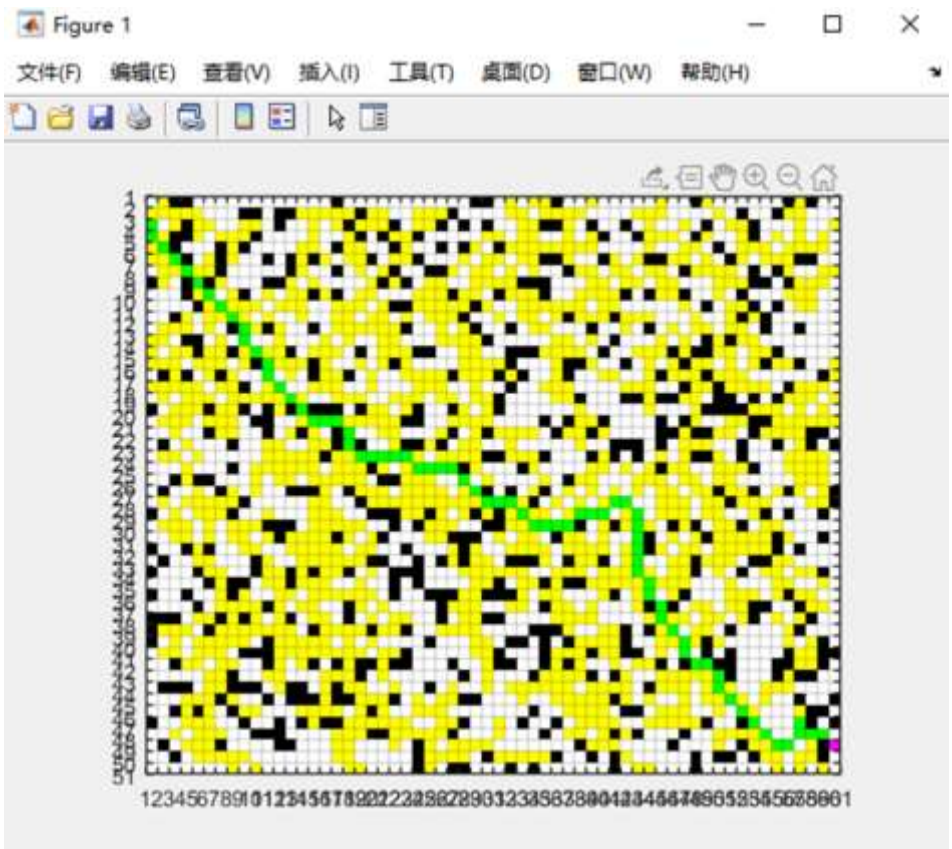
Figure 1
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)

рис 6

Результаты нескольких симуляций составляют около 1 секунды. Препятствия на карте, установленные этим методом, очень случайны и относятся к сильно дискретизированной карте. Если в реальном приложении карту необходимо дискретизировать, но скорость ее расчета действительно оптимизирована.

Преимущества быстро расширяющихся случайных деревьев - высокая скорость, полная вероятность и нелегкая блокировка. За короткий промежуток времени можно выполнить поиск во всем пространстве состояний путем случайного расширения дочерних узлов. Однако из результатов моделирования на приведенном выше рисунке нетрудно увидеть, что базовый алгоритм RRT имеет следующие недостатки, из-за которых его нельзя напрямую применять к планированию пути интеллектуальных транспортных средств: (1) Нестабильность, вызванная случайностью расширения узла. Поскольку дочерние узлы случайного дерева генерируются путем случайной выборки в пространстве состояний, каждый раз на одной и той же карте будет планироваться другой путь от одной и той же начальной точки до конечной точки. Эта нестабильность не способствует отслеживанию траектория движения автомобиля в реальности. В то же время, поскольку он не учитывает стоимость пути при случайном расширении дочерних узлов, а длина траектории неконтролируема, это напрямую приводит к тому, что план пути находится далеко от оптимального пути. (2) Метрическая функция в алгоритме напрямую

использует евклидово прямолинейное расстояние для представления расстояния между точкой состояния и случайной точкой, что может быть ограничением при планировании пути робота в сложной среде. Когда вокруг робота много препятствий, использование этого метода измерения увеличит вероятность столкновения при расширении нового узла, а количество отказов при расширении узла увеличится, что повлияет на эффективность алгоритма.

Чтобы улучшить случайность алгоритма, вводится следующий алгоритм

Алгоритм искусственного потенциального поля

Традиционный метод искусственного потенциального поля был впервые предложен О. Хатибом в 1986 году, который применил его в области современной навигации роботов и предотвращения препятствий. Современная технология беспилотного вождения, по сути, предназначена для управления движением. Таким образом, этот метод по-прежнему имеет широкие сценарии применения и полезность в области современного беспилотного вождения. После объединения этого метода с современной технологией искусственного интеллекта, метод искусственного потенциального поля имеет более широкие перспективы применения благодаря его практическим характеристикам.

Суть этого метода состоит в том, чтобы предположить, что рядом с препятствием существует силовое поле отталкивания, препятствующее приближению движущегося робота к препятствию; в то же время в целевой позиции существует гравитационное поле, притягивающее робота к целевой

точке, как показано на картинке. Робот подвергается воздействию гравитационных и отталкивающих сил в составном поле, образованном гравитационным полем и силовым полем отталкивания во время движения. Поскольку гравитационная и отталкивающая силы являются векторами, они вместе составляют направление результирующей силы, полученной управляемым роботом для поиска движения. Предотвращение пути и столкновения.

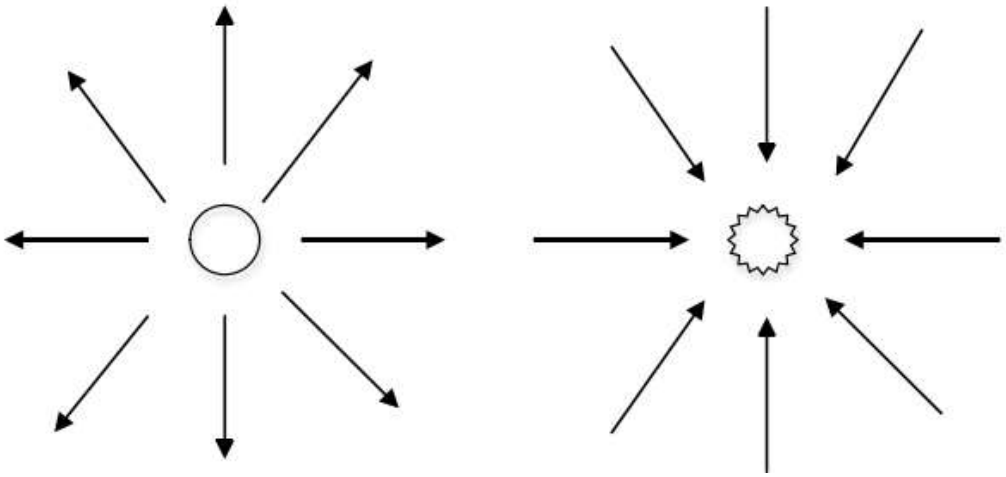

рис 7

Гравитационное потенциальное поле и гравитация традиционными методами

Подобно формуле теоремы всемирного тяготения, разница в том, что поле гравитационного потенциала игнорирует соотношение масс между роботом и целевой точкой и фокусируется только на соотношении между текущим положением робота и расстоянием между целевой точкой. Функция поля гравитационного потенциала положительно связана с расстоянием, которое выражается как：

$$U_{at}(q) = \frac{1}{2}\eta\rho^2(q, q_g)$$

Где η представляет собой коэффициент усиления положительной корреляции между размером гравитационного потенциального поля и расстоянием, $\rho^2(q, q_g)$ представляет векторное значение расстояния, а скалярное значение, которое оно представляет, Евклидово расстояние между позицией q робота и целевой позицией q_g, то есть, если $[x_c, y_c]$ используется для представления координатной позиции в текущей декартовой системе координат, $[x_g, y_g]$ используется для представления конечной точки Координатная позиция $\rho^2(q, q_g)$ равна $\sqrt{(x_g - x_C)^2 + (y_g - y_C)^2}$, его Направление - от текущей координатной позиции колесного робота Mecanum к положению целевой точки, а его математический вектор выражается как вектор координат $(x_g - x_c, y_g - y_c)$.

Соответствующая гравитация является дифференциалом гравитационной потенциальной энергии по отношению к расстоянию, а направление согласуется с направлением гравитационного потенциального поля. Мы используем метку F_{at} для обозначения гравитационной силы, воспринимаемой роботом в гравитационном поле. Следующая формула представляет ее скалярное значение: И укажите направление его вектора.

$$F_{a_t} = \frac{dU_{at}(q)}{d\rho(q, q_g)} = \eta\rho(q, q_g)$$

Текущая координата $[x_c, y_c]$, а целевая позиция$[x_c, y_c]$, направление силы тяжести - это координаты$[x_c, y_c]$Вектор, то есть точка от текущей позиции до

целевой позиции.

Процесс моделирования

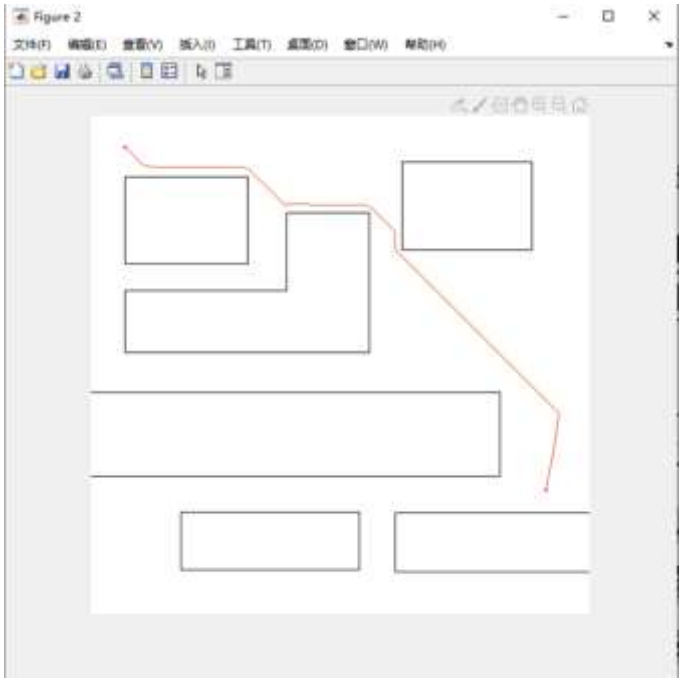

рис 8

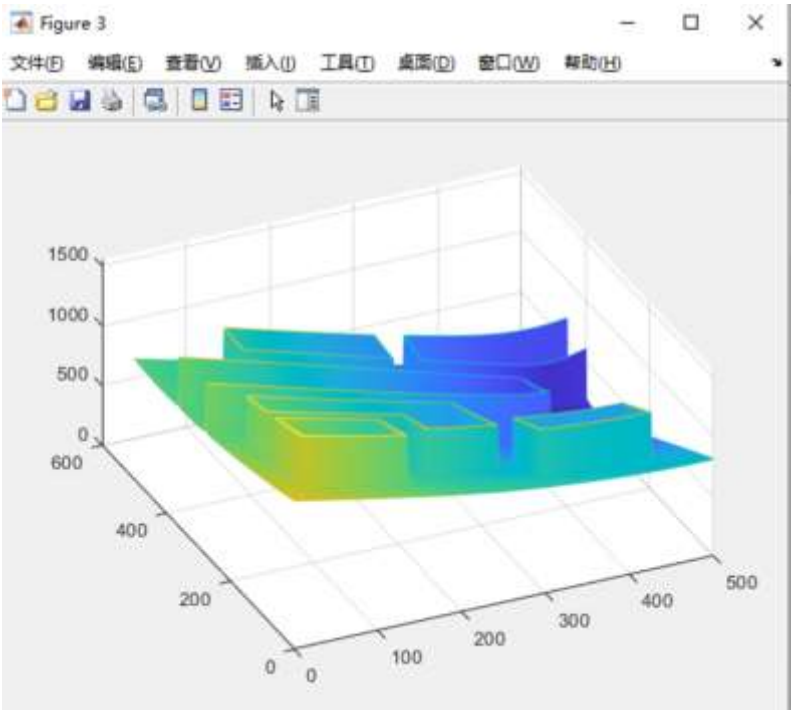

рис 9

Результаты показаны на рисунках 8 и 9. Поскольку сила отталкивания

препятствий имеет широкий диапазон влияния, на искусственное потенциальное поле в значительной степени влияют препятствия рядом с текущим положением робота, требуется меньше информации об окружающей среде и он может лучше спланировать путь. По сравнению с глобальным планированием, он имеет небольшой объем расчета, преимущество высокого реального времени. Изменение потенциального поля в свободном пространстве состояний непрерывно, поэтому путь движения вдоль направления падения потенциального поля относительно плавный и разумный. Метод искусственного потенциального поля не имеет случайности алгоритма планирования случайной выборки, поэтому время поиска и путь планирования алгоритма относительно стабильны. Хотя метод искусственного потенциального поля имеет перечисленные выше преимущества и широко используется, он также имеет некоторые недостатки. Когда сила тяжести целевой точки равна силе отталкивания препятствия, а направление противоположно, результирующая сила робота равна 0, а текущее положение является минимальным значением потенциальной энергии в пространстве состояний.

Улучшенный алгоритм RRT на основе алгоритма искусственного потенциального поля

Целью объединения двух алгоритмов является использование силы тяжести, создаваемой искусственным потенциальным полем, для определения направления роста алгоритма RRT, который может эффективно избегать препятствий, а метод выбора узла основан на взаимодействии гравитационного

отталкивания. сил. Избегайте попадания траектории в локальный оптимум.

В этом алгоритме приращение каждого узла определяется направлением случайной точки выборки x_{rand} относительно x_{near}, длиной шага, а также силой гравитации и отталкивания, полученной роботом в x_{near}, и генерация нового узла Формула выглядит следующим образом:

$$x_{new} = x_{neart} + \varepsilon \frac{x_{rand} - x_{near}}{d(x_{rand}, x_{neart})} + \phi \frac{\boldsymbol{F}_{total}}{|\boldsymbol{F}_{total}|}$$

Среди них: $\boldsymbol{F}_{total}$ - результирующая сила гравитации и отталкивания, полученная роботом в точке x_{near}; ε- фактор случайной составляющей; ϕ- составляющая потенциального поля. фактор. Случайный компонент метода ступенчатого роста и компонент потенциального поля алгоритма совместно определяют расстояние роста. Когда узел приближается к препятствию, направление компонента потенциального поля в основном определяется силой отталкивания, что делает шаг роста к зоне препятствия меньше. Случайным деревьям хорошо проходить через узкую зону; когда узел находится далеко от препятствий, направление составляющей потенциального поля в основном определяется силой тяжести, что делает шаг роста к целевой зоне крупнее, что выгодно для быстрого приближения к цели.

Гравитационная функция и функция отталкивания соответственно:

$$\boldsymbol{F}_{att} = F_{att}^{*} \frac{x_{goal} - x_{near}}{d(x_{goal}, x_{near})}$$

$$\boldsymbol{F}_{rep} = \begin{cases} \dfrac{F_{rep}^{*}}{1 + e^{(2|d_{min}|/d_{rep}^{*} - 1)k}} \dfrac{\boldsymbol{d}_{min}}{|\boldsymbol{d}_{min}|} & |\boldsymbol{d}_{min}| \leqslant d_{rep}^{*} \\ 0 & |\boldsymbol{d}_{min}| > d_{rep}^{*} \end{cases}$$

Среди них: $\mathbf{d}_{\min} = x_{near} - O_{near}$, O_{near} - расстояние от препятствия

x_{near} ближайшая точка; F_{att}^{*} и F_{rep}^{*} - гравитационная постоянная и константа отталкивания соответственно; k - коэффициент формы ; d_{rep}^{*} - радиус действия силового поля отталкивания. Когда минимальное расстояние между x_{near} и препятствием близко к 0, сила отталкивания близка к F_{rep}^{*} ; когда x_{near} близко к препятствию Когда минимальное расстояние близко к d_{rep}^{*} /2, сила отталкивания близка к F_{rep}^{*} /2; когда x_{near} и препятствия Когда минимальное расстояние близко к d_{rep}^{*} , сила отталкивания близка к 0.

Процесс моделирования выполняется в системе Linux, и результаты моделирования показаны на рисунке:

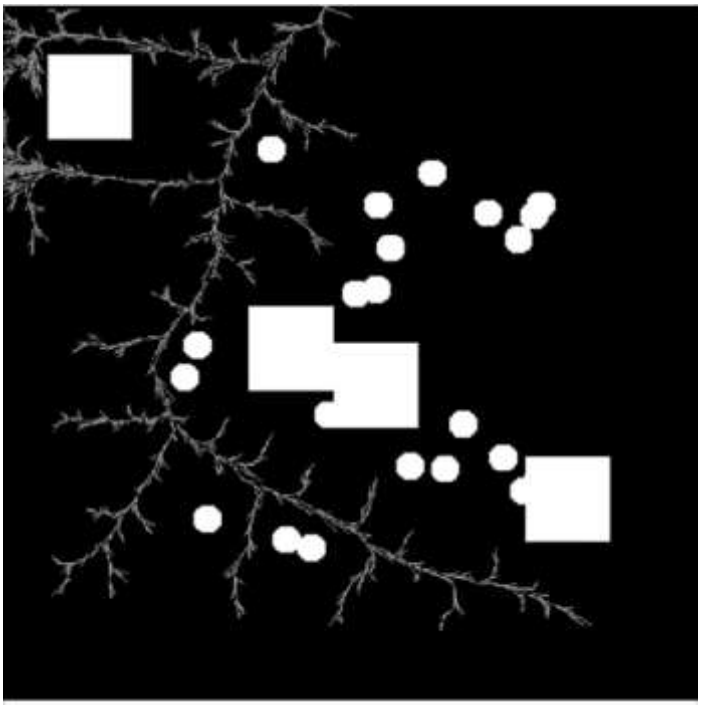

рис 10

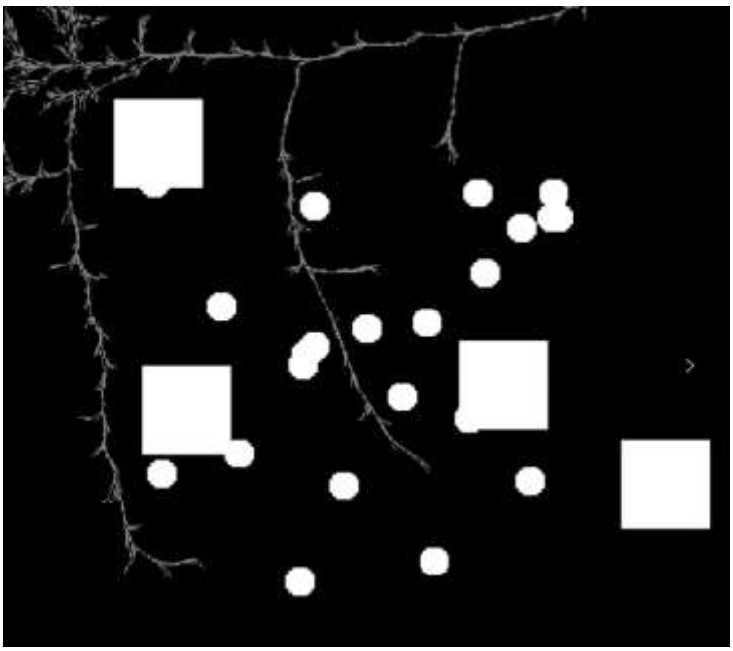

рис 11

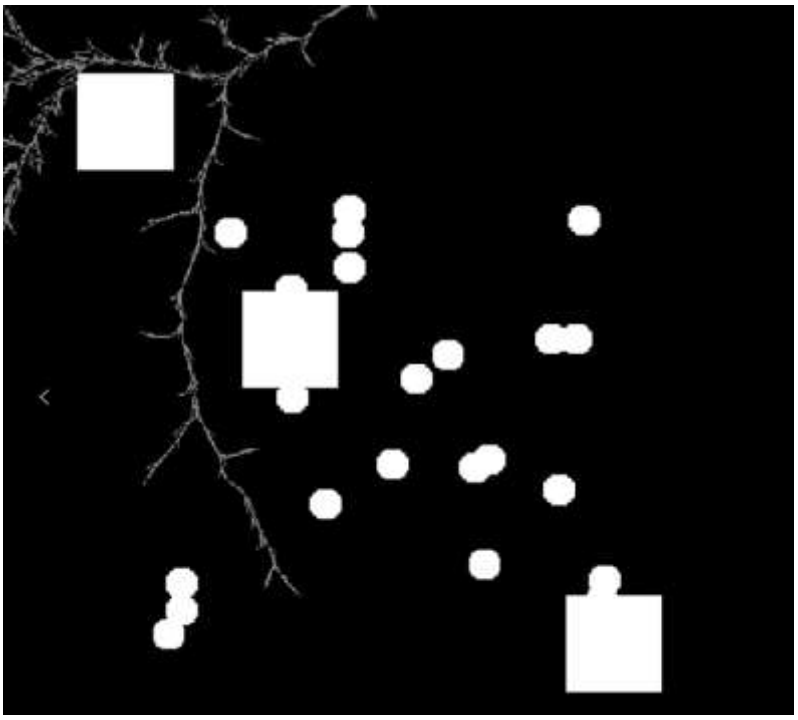

рис 12

Из рисунка видно, что алгоритм будет расширен вдоль направления спада потенциального поля при поиске дорожной силы, руководствуясь потенциальным полем, что увеличивает скорость сходимости и повышает

эффективность алгоритма, но по-прежнему сохраняет случайность алгоритма RRT. Имеет возможность выпрыгнуть из точки минимума в потенциальном поле. Сложность оптимизированного пути была значительно улучшена. Установленная здесь длина шага короче, а путь более плавный, чем обычный алгоритм RRT, но соответствующее время вычисления увеличится, но общее время планирования пути было сокращено до определенного степень.

Подведение итогов

В этом эксперименте посредством обучения и моделирования двух алгоритмов изучаются и анализируются эффекты, преимущества и недостатки двух алгоритмов, и создается новая модель алгоритма путем комбинирования этих двух алгоритмов дополнительным образом для решения RRT-алгоритма Расширение отсутствие направленности, низкая эффективность сходимости и другие недостатки. В процессе случайной выборки узлов общая напряженность потенциального поля используется в качестве основы для оценочного суждения, так что расширение дерева стремится к дешевому пространству, тем самым направляя узел для приближения к цели. время для локального минимума искусственного потенциального поля, выборка Улучшенный тест преобразования проверяет узлы выборки и адаптивно регулирует прямой наклон дерева, чтобы дерево как можно дальше расширялось до области с низкой напряженностью поля, избегая локальные потрясения.

Тот же усовершенствованный алгоритм по-прежнему имеет недостатки, сложность вычислений усложняется, а скорость поиска пути по-прежнему

увеличивается за счет регулировки размера шага, и соответствующие корректировки и изменения по-прежнему необходимы в практических приложениях, особенно в ситуации с несколькими роботами или планирования пути в динамической среде все еще очень сложно. Я надеюсь, что в будущем будет прорыв в обучении.

Литература

1. [1] Чжу Минхуа Интеллектуальное планирование автомобильного пути на основе улучшенного RRT 2017.
2. [2] Ян Е Ни Цзяньцзюнь Чен Инань Улучшенный алгоритм планирования пути внутреннего робота RRT *.[A] Компьютерные измерения и контроль. 2020,28 (1).
3. [3] Сон Цзяньхуэй Дай Тао Лю Яньцзю Планирование пути мобильного робота на основе усовершенствованного метода искусственного потенциального поля. [A] Компьютерная инженерия и наука: 107-130X (2017) 07-1328-05 .
4. [4] L. Jaillet,J. Cortés, T. Siméon,.Sampling-based path planning on configuration-space costmaps[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2010,26(4):635.
5. [5] Цяо Хуйфэнь, Пан Гуанчжэнь, Юань Цинь. Исследование и моделирование планирования пути в реальном времени для мобильных роботов [J.] Компьютерное моделирование, 2015, 32 (1): 405-410.

Literature

1. [1] Zhu Minghua Intelligent Road Path Planning Based on the 2017 Improved

RRT.

2. [2] Yang Ye Ni Jianjun Chen Yingan Improved path planning algorithm of the internal robot RRT *. [A] Computer measurement and control. 2020.28 (1).
3. [3] Song Jianhui Dai Tao Liu Yanjiu Planning the path of a mobile robot based on an improved artificial potential field method. [A] Computer Engineering and Science: 107-130X (2017) 07-1328-05.
4. [4] L. Jaillet, J. Cortés, T. Siméon,. Sampling-based path planning on configuration-space costmaps [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2010.26 (4): 635.
5. [5] Qiao Huifen, Pan Guangzhen, Yuan Qin. Real-Time Path Planning Research and Simulation for Mobile Robots [J.] Computer Simulation, 2015, 32 (1): 405-410.