

Децентрализованное управление строем

Хасан Хафизов

14 июня 2017 г.

1 Постановка задачи

2 Механическая модель агента

Моделью агента является материальная точка с массой m . Закон движения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_x \\ m\ddot{y} = F_y \end{cases}$$

\vec{F} — сила, действующая на агента, может включать в себя:

$$\vec{F} = \vec{u} + \vec{W} + \vec{F}_{\text{тр}}$$

Где \vec{u} — управляющее воздействие, \vec{W} — случайные помехи, $\vec{F}_{\text{тр}}$ — сила трения.

В предлагаемом мной алгоритме управления агентов можно разделить на два класса:

- интеллектуальный (мастер)
- управляемый (миньон)

Закон управления для этих двух типов агентов задаётся по-разному.

2.1 Мастер

Мастером является агент, для которого желаемый закон движения S_d задаётся оператором извне: это может быть записанная в память агента траектория, целевая позиция или скорость.

Фактически, этот агент ничего не знает о существовании других агентов в строю (миньонов). Его задача — выполнение поставленного закона

движения, поэтому закон управления зависит только от закона движения:

$$\vec{u} = \vec{u}(S_d)$$

Рассмотрим конкретный закон управления \vec{u}_{tr} : движение по некоторой траектории $\vec{tr}(t)$:

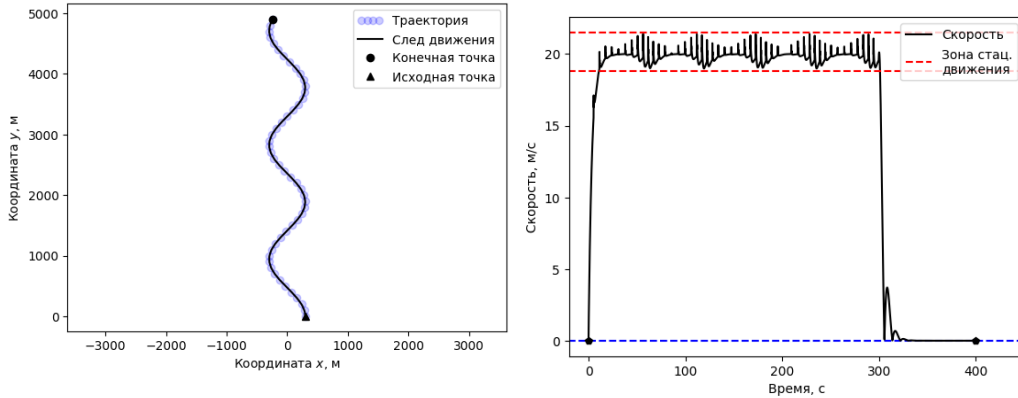
$$\vec{u}_{tr} = \vec{u}_{along} + \vec{u}_{across}$$

Закон управления состоит из двух частей. Первая \vec{u}_{along} отвечает за усилие вдоль траектории, вторая \vec{u}_{across} — поперёк. Направлением для \vec{u}_{along} служит направление вектора между текущим положением агента и следующей точкой траектории.

(Тут будет более подробно о том, как вычисляется следующая точка траектории, о алгоритмах управления на PD регуляторах, которые используются как в \vec{u}_{along} , так и в \vec{u}_{across})

Пример движения мастера по траектории, задаваемой параметрическим уравнением, где s — параметр: $s \in [0, 5000]$.

$$x(s) = 300 \cdot \cos\left(\frac{s}{300}\right); y(s) = s$$



(a) Исходная траектория и след от движения

(b) Скорость движения мастера

Рис. 1: Движение мастера по заданной траектории с заданной скоростью $v_{desired} = 20 \frac{м}{с}$. Расстояния на рисунках задаются в метрах, время в секундах, скорость в $\frac{м}{с}$

2.1.1 Оценка движения мастера по траектории

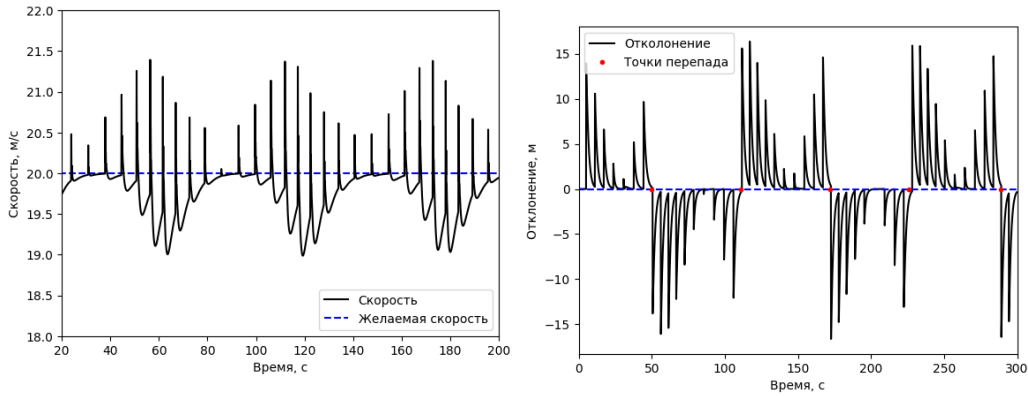
Агент преодолел заданную траекторию за $t = 331$ с.

Проеденное расстояние:

$$S = \int_0^{5000} \sqrt{x'^2(s) + y'^2(s)} ds \approx 6051\text{м}$$

Средняя скорость $v_{av} = 18.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Стационарным режимом движения можно назвать режим, при котором скорость агента колеблется в пределах между $18.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $21.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Более подробно скорость мастера в стационарном режиме можно увидеть на рис. 2а



(а) Скорость мастера в стационарном режиме (б) Отклонения мастера от траектории

Рис. 2: Иллюстрация отклонений от желаемого закона движения

Отклонения агента от заданной траектории представлены на рис. 2б. Выше нуля — отклонения от траектории вправо, ниже нуля — влево. Максимальное отклонение составляет примерно 15 м.

Резкие перепады на графике, обозначенные как точки перепада объясняются тем, что в этих точках у траектории изменяется знак первой производной, а агент, всегда остающийся на внутренней части траектории резко оказывается на внешней. Проверим это утверждение. Заданное выше параметрическое уравнение фактически является уравнением

$$x = 300 \cdot \cos\left(\frac{y}{300}\right)$$

Равенство нулю первой производной:

$$\sin\left(\frac{y}{300}\right) = 0 \Rightarrow y = 300\pi n$$

Найдём первые 5 точек траектории, в которой происходит смена знака второй производной:

$$M = \left\{(-300; 942), (300; 1885), (-300; 2827), (300; 3770), (-300; 4712)\right\}$$

Найдём моменты времени, в которые эти точки будут достигнуты агентом:

$$\hat{L}_t = \{61c, 118c, 177c, 234c, 292c\}$$

Реальные же моменты времени, в которые просходит резкое изменение величины отклонения от траектории:

$$L_t = \{50c, 110c, 172c, 226c, 289c\}$$

То есть, изменение стороны относительно линии траектории по которой движется агент изменяется незадолго до того, как будет изменён знак первой производной траектории. Эта закономерность так же наблюдается на рис. 3.

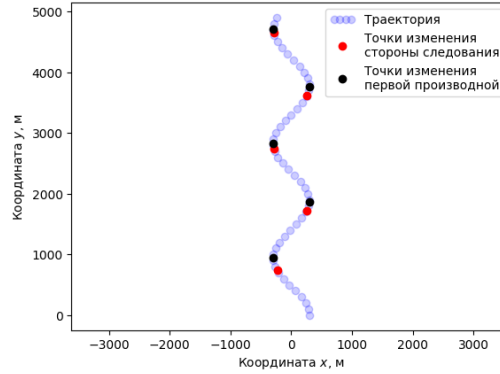


Рис. 3: Траектория с наложенными на неё точками изменения стороны следования и точками изменения знака первой производной.

(Тут будет исследование устойчивости алгоритма к случайным возмущениям)

Выводы: движение мастера по траектории является точным и предсказуемым. Данный алгоритм управления по траектории с задаваемой скоростью является пригодным для применения.

2.2 Миньон

Миньон является ведомым агентом, он не имеет информации о траектории движения.

Расчёт местоположения виртуального лидера просходит следующим образом:

1. Получение текущих координат от агента, являющегося

3 Строй

Строй представляет из себя множество агентов соединённых связями, подобно графу. Для каждого агента, не являющегося мастером должно быть определено не менее одного агента-лидера. Лидером для агента может быть как мастер, так и любой миньон. Каждый агент — вершина графа, каждая связь миньон-лидер — ребро графа. Пример строя из 5-ти агентов изображён на рис.4.

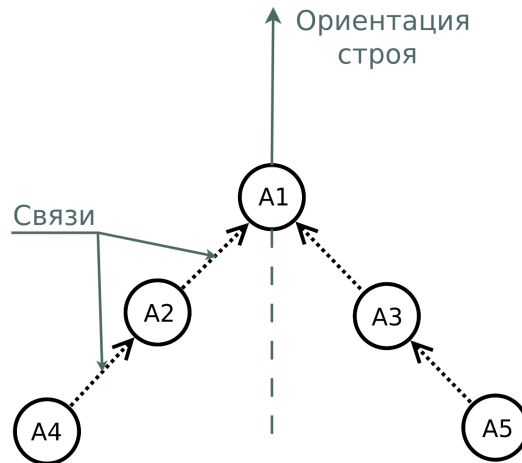


Рис. 4: Пример клиновидного строя из 5-ти агентов

Каждая связь J_{ij} — это вектор в полярных координатах, у которого радиус — это расстояние от миньона i до миньона лидера j , а угол — это угол между изначальной ориентацией строя и вектором, соединяющим миньона с его лидером. К примеру, если расстояния между каждой парой агентов равно 1м, то связи:

- J_{1j} — не определены ни для каких j : A_1 является мастером
- $J_{21} = (r = 1\text{м}; \varphi = 225^\circ)$ — для миньона A_2 агентом лидером является мастер A_1 . Агенты находятся на расстоянии 1м, угол между

соединяющим их вектором и вектором изначальной ориентации составляет 225°

- J_{31}, J_{42}, J_{53} — определяются аналогично

При повороте строя поворачивается и вектор ориентации строя, за счёт чего далее пересчитывается позиция, в которой должен находиться агент после поворота. Эта позиция будет именоваться виртуальным лидером. Виртуальный лидер — точка пространства, в которую стремиться попасть миньон для того, чтобы поддерживать фигуру строя.

Например, на рис. 5 изображён поворот строя на угол b . Для того, чтобы пересчитать позицию, в которой должен находиться миньон после поворота (виртуальный лидер) необходимо повернуть вектор изначальной ориентации O_0 на угол $b + \varphi$, где φ — угол из любого вектора связи J_{ij} миньона i , далее от положения выбранного миньона-лидера необходимо отложить расстояние равное r из вектора связи в направлении повернутого вектора изначальной ориентации O_0 .

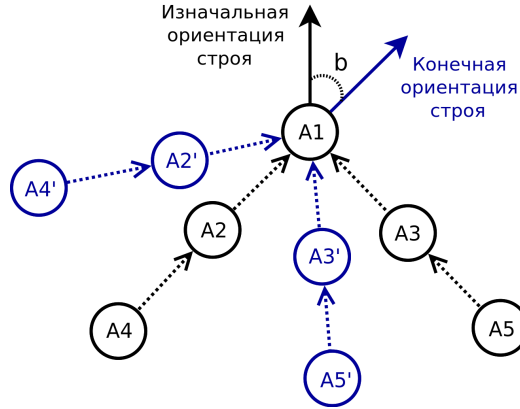


Рис. 5: Поворот строя на угол b

Рассмотрим пример того, как будет рассчитан виртуальный лидер A'_5 для агента A_5 (см. рис. 5), для которого определён вектор связи $J_{53} = (r_{53}; \varphi_{53})$ (вектор связи с A_3). Для начала повернём вектор изначальной ориентации O_0 :

$$\vec{O}_1 = \begin{pmatrix} \cos(b + \varphi_{53}) & \sin(b + \varphi_{53}) \\ \sin(b + \varphi_{53}) & \cos(b + \varphi_{53}) \end{pmatrix} \vec{O}_0$$

Теперь вдоль полученного вектора \vec{O}_1 необходимо отложить от позиции агента A_3 расстояние равное r_{53} :

$$\vec{A}'_5 = \vec{A}_3 + \frac{\vec{O}_1}{|\vec{O}_1|} r_{53}$$

В приведённых выше расчётах неявно предполагалось, что агент A_3 на момент пересчёта виртуального лидера для A_5 уже находится в точке A'_3 . До тех пор, пока не будет выполнено это условие получаемое A'_5 не будет совпадать с тем, что приведено на рисунке. Однако, это ожидаемая ситуация, т.к. A_5 не знает ни о каких агентах кроме A_3 , то он и полагается только на данные, получаемые от A_3 , а если A_3 ещё не достиг точки виртуального лидера, то и в координатах виртуального лидера A'_5 будут содержаться ошибки.

Описанную выше проблему несложно решить, если строить виртуальных лидеров на основе позиции не агента-лидера, а на основе точки виртуального лидера агента-лидера. Однако, после поворота у миньонов находящихся дальше от центра поворота (центр поворота — мастер) расстояние до их виртуальных лидеров окажется больше, чем у миньонов ближе к центру поворота (см. $A_3 - A'_3$ в сравнении с $A_5 - A'_5$ на рис. 5), что приведёт к тому, что пропорциональная составляющая PID регулятора вырабатывающего управление для следования миньонов в точку виртуального лидера выдаст команду создать большее управляющее воздействие, следовательно АКБ агентов будут разряжаться более неравномерно, чем при более инертном расчёте виртуальных лидеров от позиции агентов-лидеров.

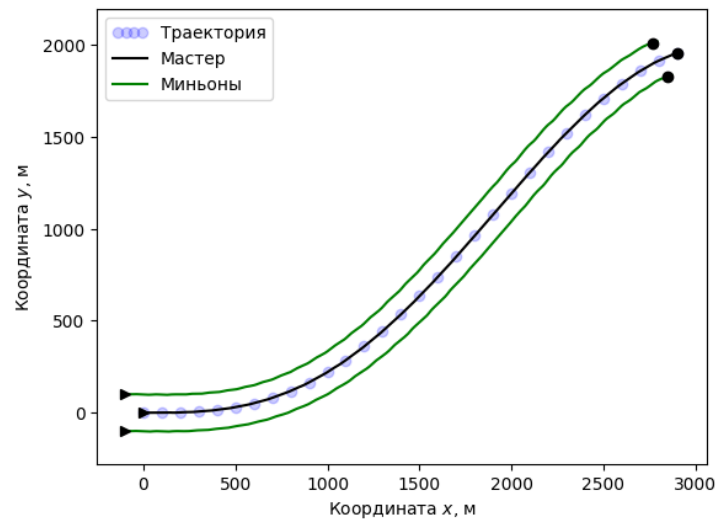


Рис. 6: Движение строем мастера и двух миньонов