

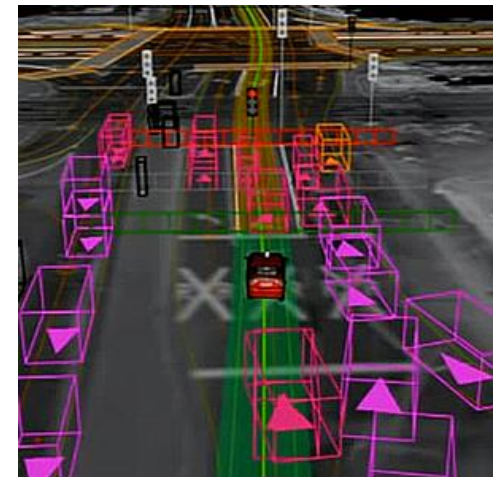
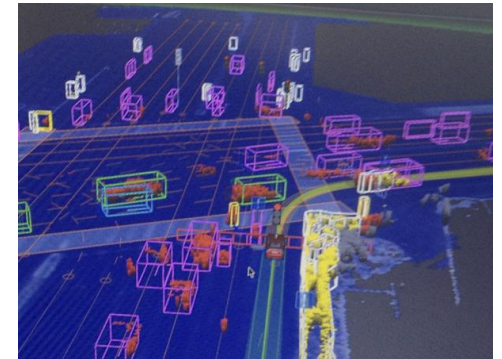
ПОБУДОВА ОПТИМАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЧОТИРИКОЛІСНОГО АВТОМОБІЛЯ ПО ПОШКОДЖЕНІЙ ДОРОЗІ

Башук Олександр
МАГ-2, ПМ

Роботизовані автомобілі



Google Self-Driving Car



Проблема пошкоджених доріг



Проблема пошкоджених доріг

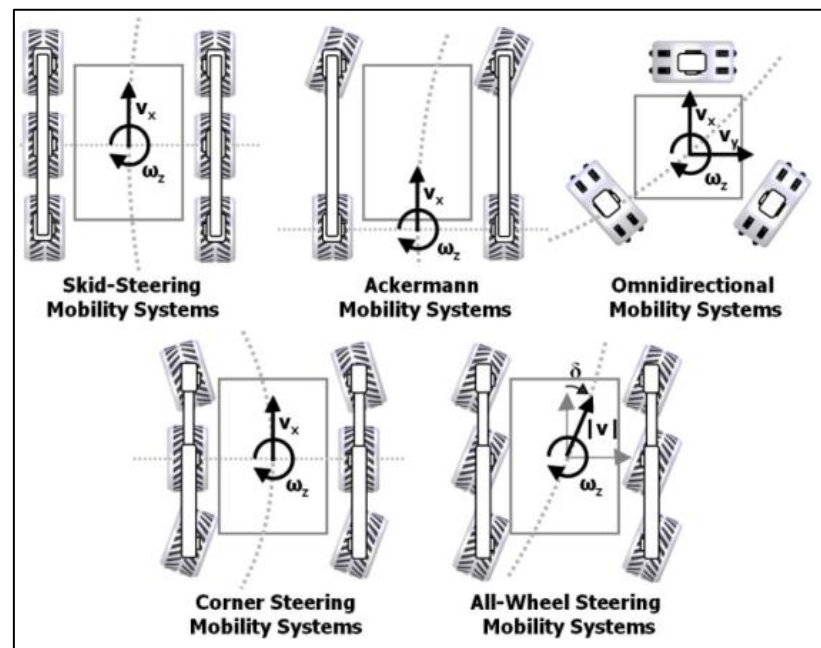
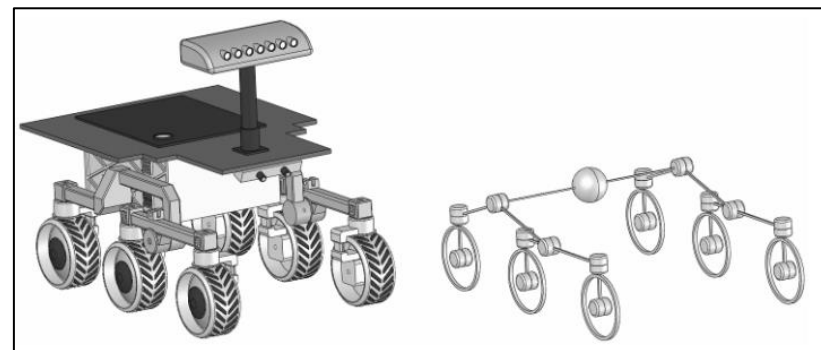
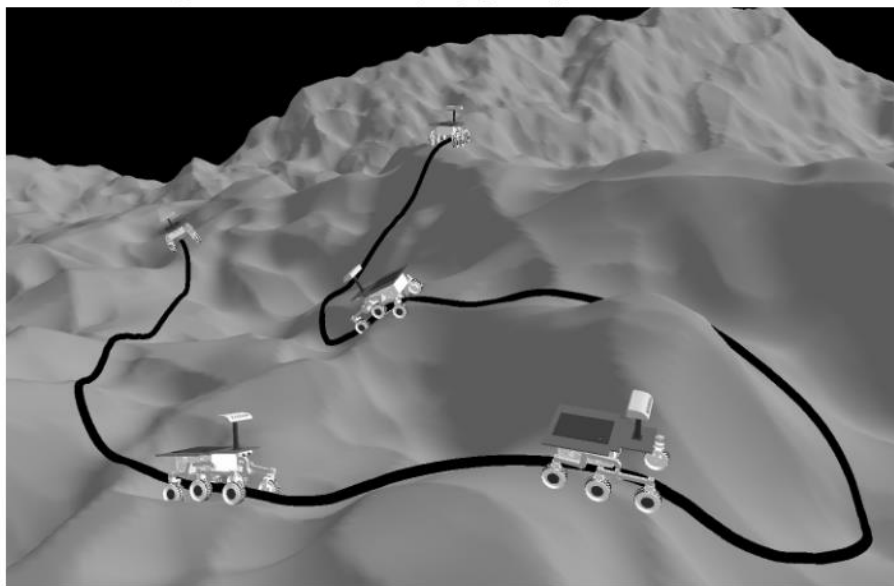


Існуючі розв'язки

Роботи-розвідники (Т. Howard):

+ Врахована геометрія

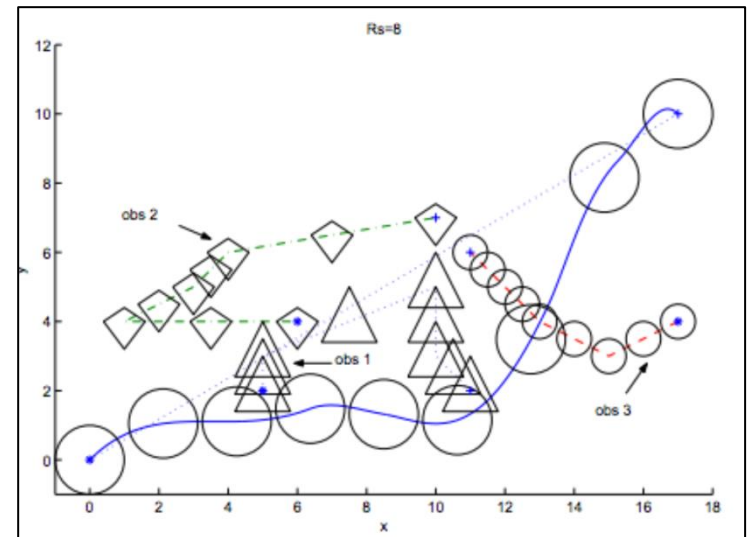
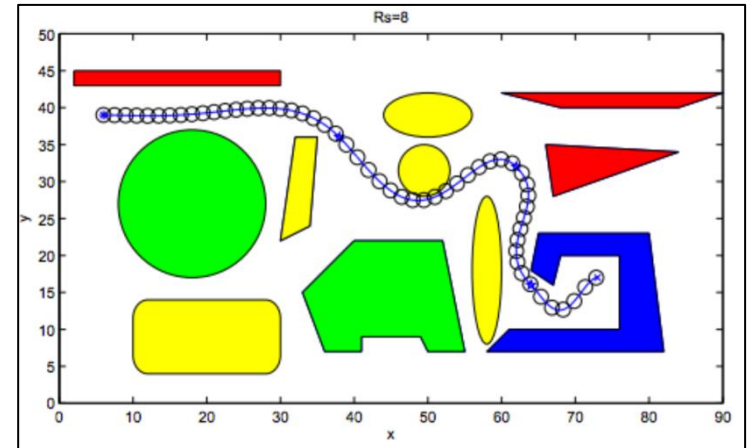
- Надто повільний алгоритм



Існуючі розв'язки

**Перешкоди фіксованої форми
в динамічному середовищі
(J. Yang):**

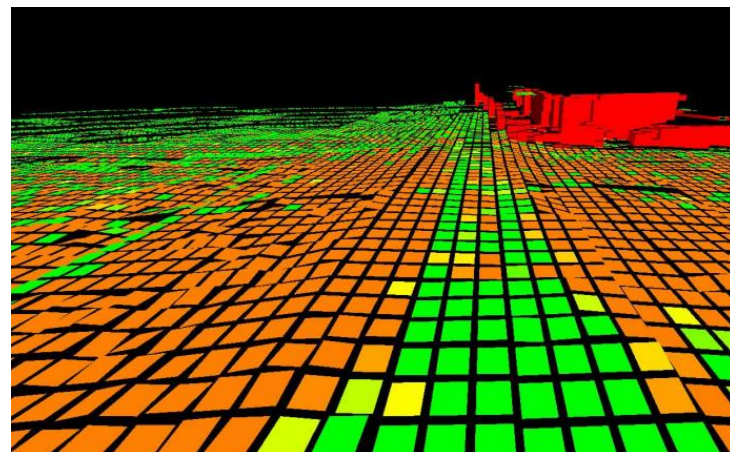
- + Динамічність середовища
- + «М'які» перешкоди
- + Баланс енергія/довжина
- Тіло – матеріальна точка
- Перешкоди – суцільні, мають визначену границю



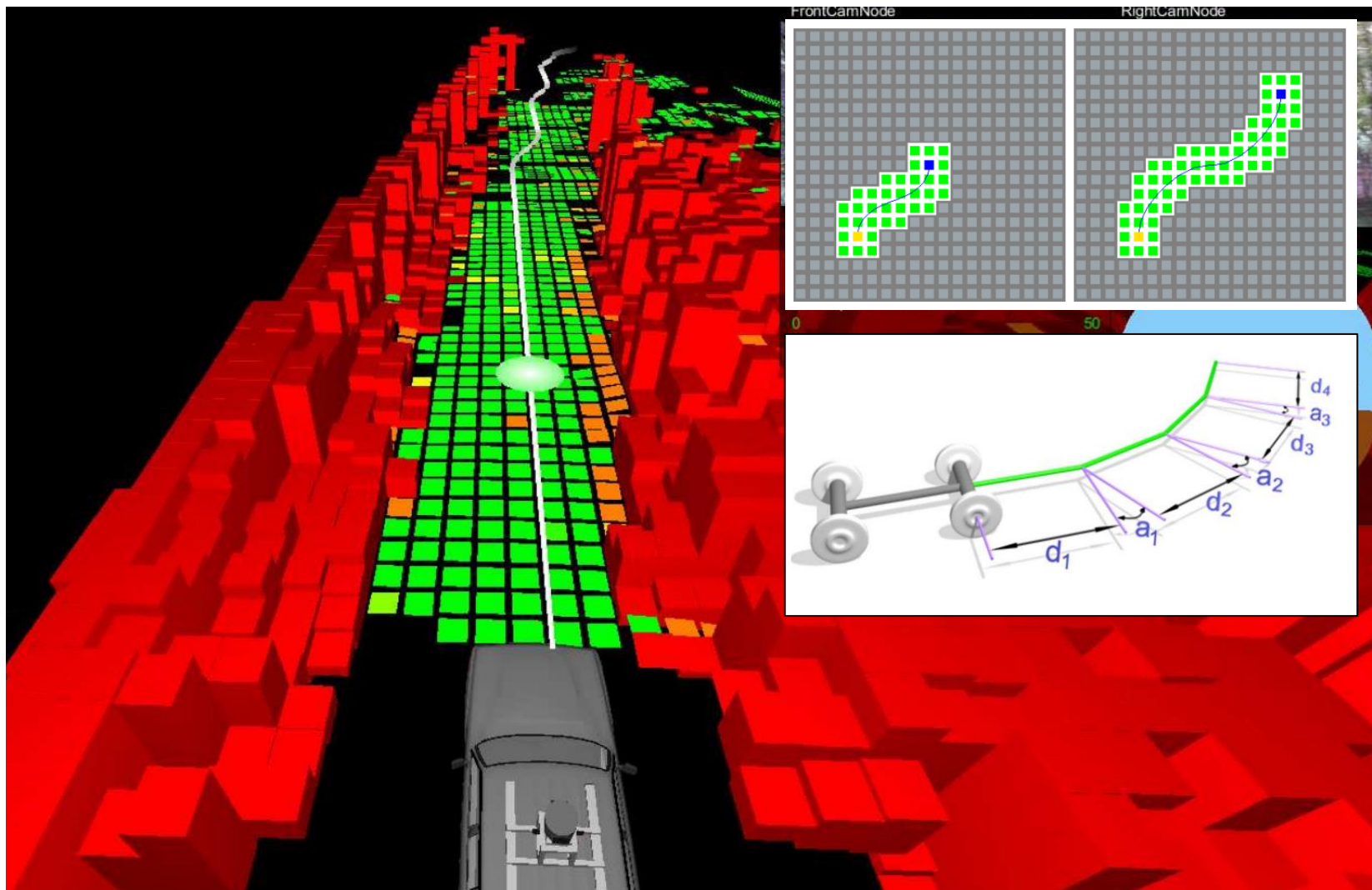
Існуючі розв'язки

**Сплайн-траєкторії на
пересічній місцевості
(М. Haselich, N. Handzhiyski):**

- + Висока швидкість (сплайни)
- + Сканування дороги
- + Класифікація якості
дорожнього покриття
- Не врахована геометрія руху,
габарити автомобіля
- Візуальне сканування
(не глибинне)



Існуючі розв'язки



Формулювання проблеми

Задача:

- Побудова оптимальної траєкторії руху по пошкодженій дорозі

Фактори, які необхідно врахувати:

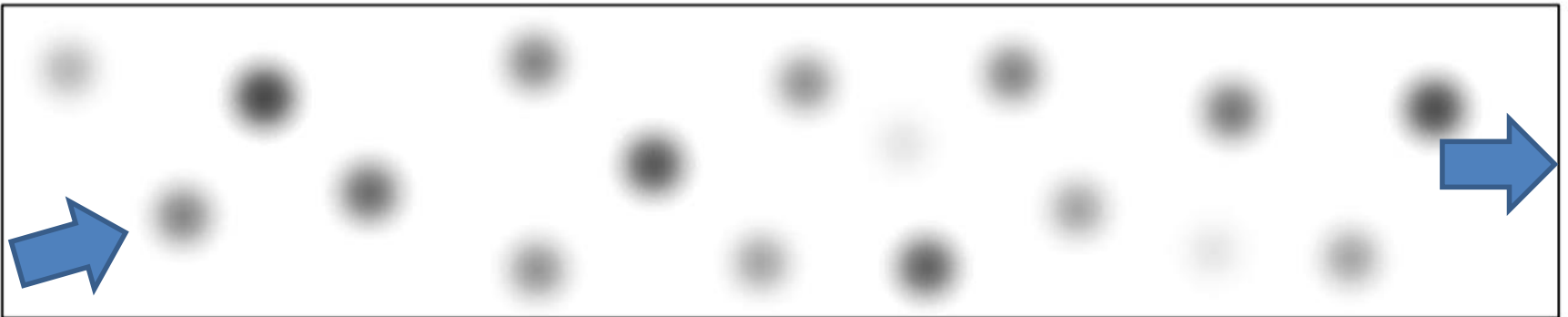
- Габаритні характеристики автомобіля;
- Геометрія руху автомобіля;
- Особливості проїзду по ушкодженій дорозі.

Вхідні дані

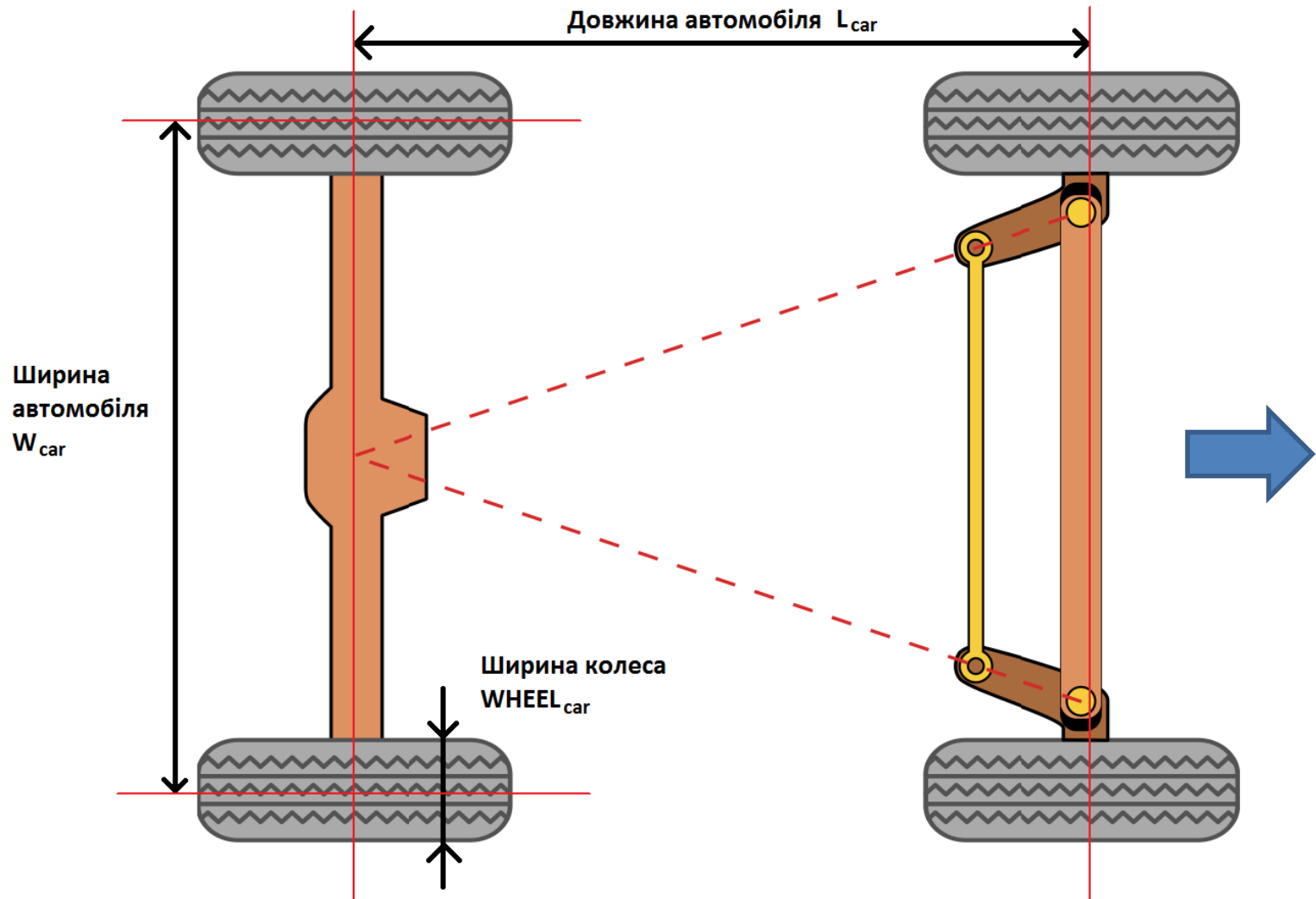
- Габарити автомобіля
- Інформація про стан дорожнього покриття
- Крайові умови руху: положення, орієнтація на дорозі



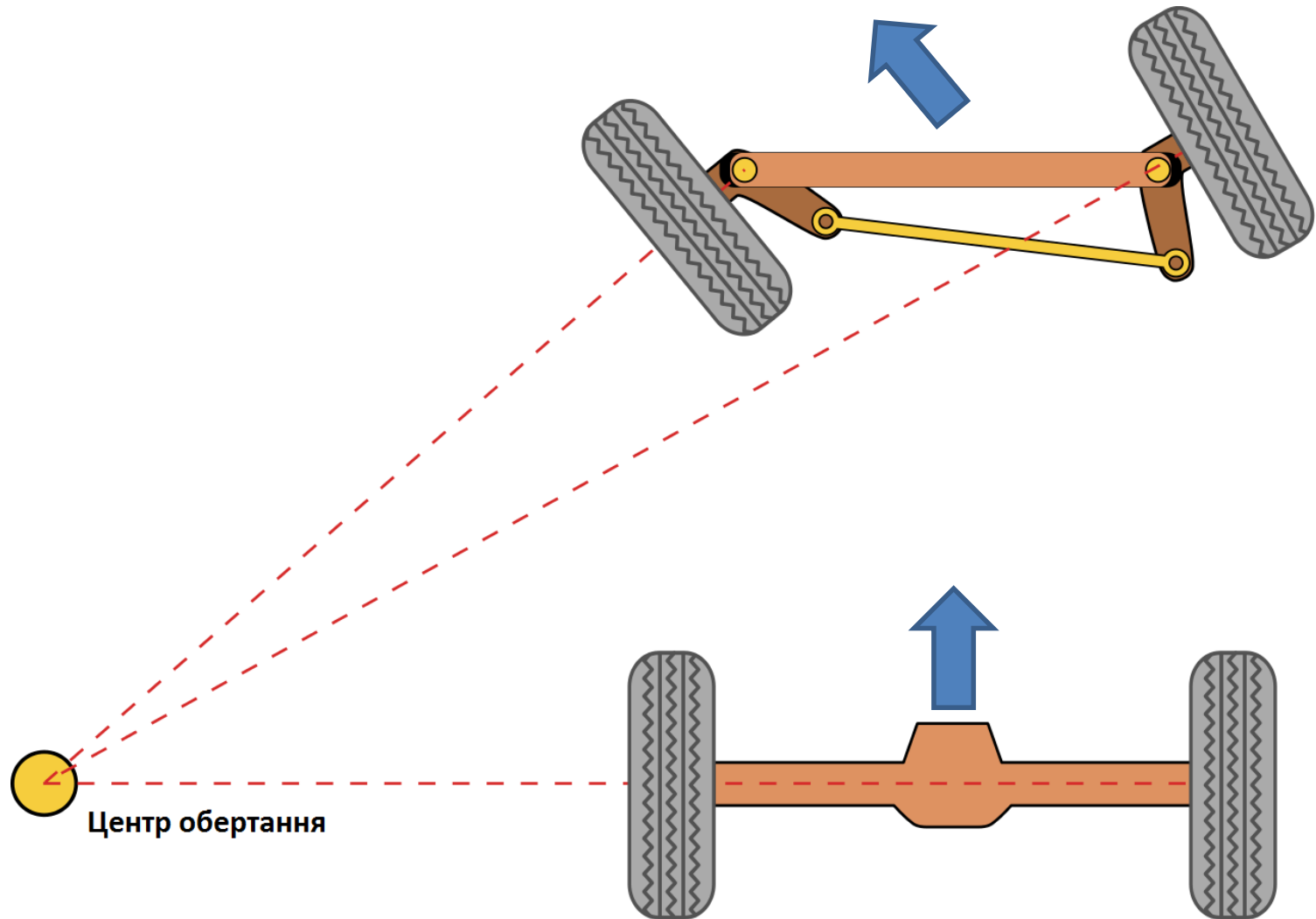
Bugatti Veyron Super Sport



Габаритні характеристики авто



Геометрія Акермана



Особливості проїзду по ушкодженій дорозі

Природні твердження та спостереження:

- Часткове потрапляння колеса в дорожню яму наносить менше шкоди, аніж повне потрапляння;
- Залежність шкоди, заподіяної ямою, від її глибини перевершує лінійну. В даній роботі шкода від проїзду ями пропорційна квадрату її глибини;
- За відсутності пошкоджень дороги, пряма траєкторія має перевагу над всіма іншими.

Критерій оптимальності траєкторії

Штраф траєкторії =
штраф за ями +
штраф за довжину +
штраф за кривизну

$$P[f] = \alpha_1 Q_1[f] + \alpha_2 Q_2[f] + \alpha_3 Q_3[f],$$
$$f(0) = y_L, f(W) = y_R,$$
$$f'(0) = y'_L, f'(W) = y'_R$$

Оптимальна траєкторія:
траєкторія, для якої
штраф мінімальний

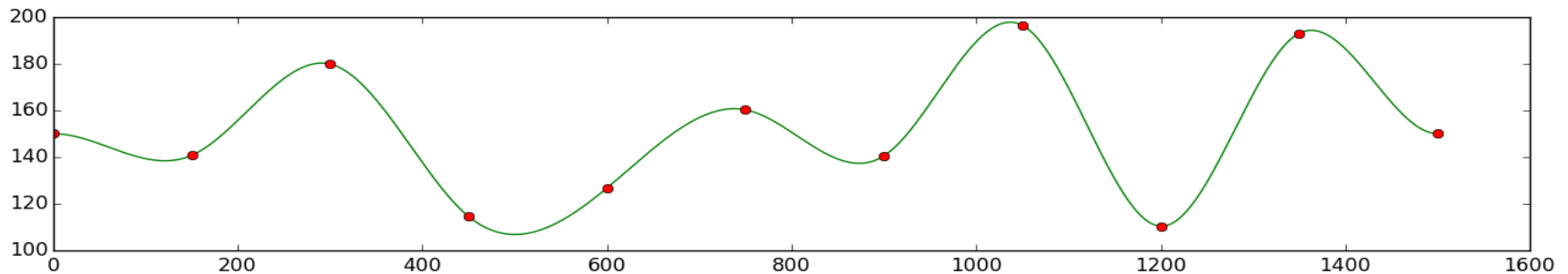
$$Q_1[f] = \begin{cases} \sum_{i=1}^4 \iint_{D_i} Q^2(x, y) dx dy, & \text{якщо } D_i \subseteq [0; W] \times [0; H] \\ \infty, & \text{інакше} \end{cases}$$

$$Q_2[f] = \int_0^W \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

$$Q_3[f] = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

Загальна ідея пошуку оптимальної траєкторії

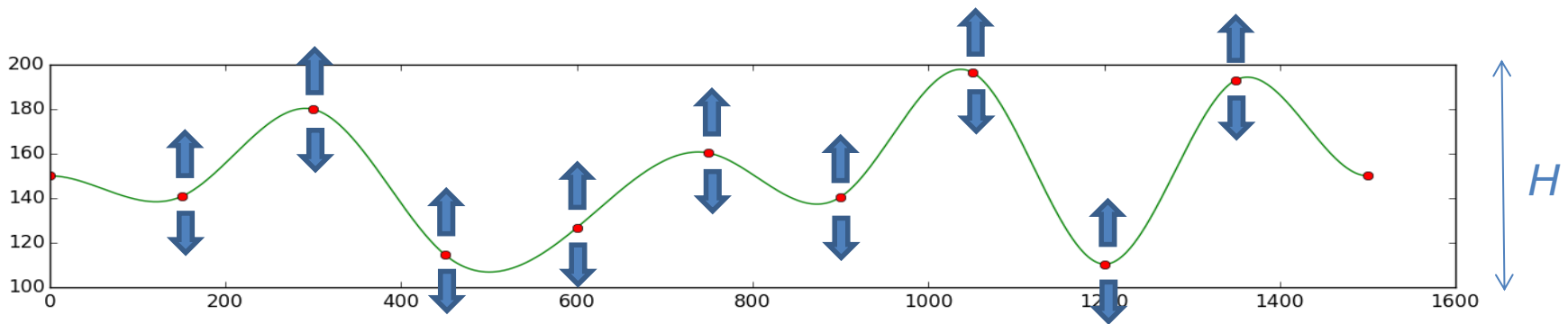
- Траєкторія будується як кубічний сплайн, що проходить через $N+1$ точку та задовольняє крайові умови (N – параметр алгоритму);



- Серед таких сплайнів обирається той, для якого сумарний штраф буде мінімальним (оптимальна траєкторія).

Загальна ідея пошуку оптимальної траєкторії

Задача зводиться до пошуку вектора в $(N-1)$ -вимірному кубі, який буде мінімізувати функціонал штрафу.



$$\vec{y}^* = (y_1, y_2, \dots, y_{N-1}),$$

$$y_i \in [0; H], i = \overline{1, N-1}$$

$$f(x) = f^*(y_0, y_1, \dots, y_N, y'_0, y'_N, x) = f(\vec{y}^*, x)$$

$$f(x) = \arg \min_g P[g].$$

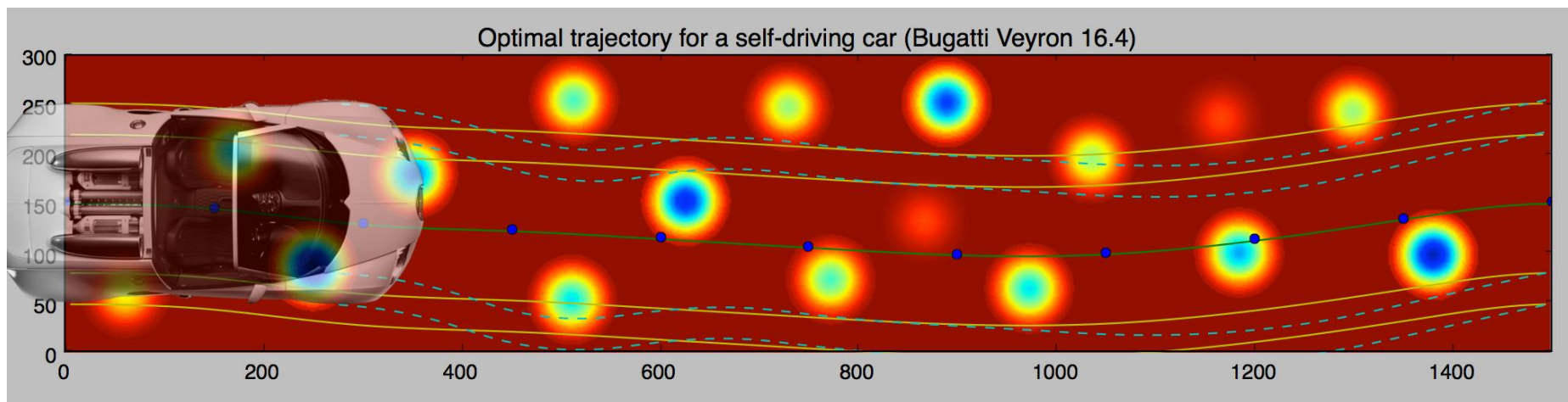
Загальна ідея пошуку оптимальної траєкторії

$$\begin{aligned} \vec{y}^* &= (y_1, y_2, \dots, y_{N-1}), & f(x) &= f^*(y_0, y_1, \dots, y_N, y'_0, y'_N, x) = f(\vec{y}^*, x) \\ y_i &\in [0; H], i = \overline{1, N-1} & f(x) &= \arg \min_g P[g]. \end{aligned}$$

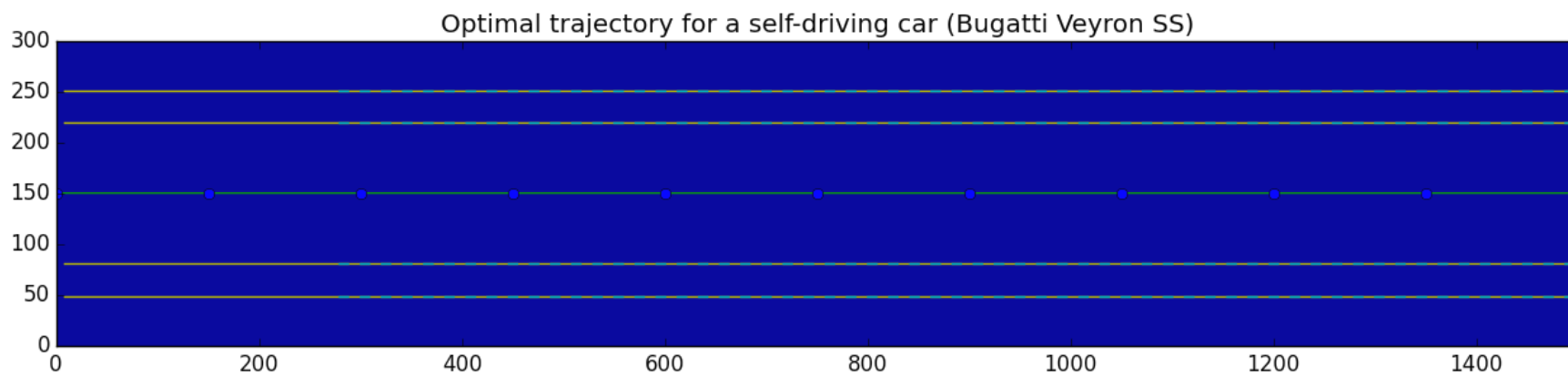
- Пошук мінімізуючого вектору здійснюється за допомогою методу покоординатного спуску;
- Коефіцієнт зменшення координатного кроку – сталий, є параметром алгоритму;
- Точність обчислення координат вектору задається попередньо, є параметром алгоритму.

Тестування розв'язку

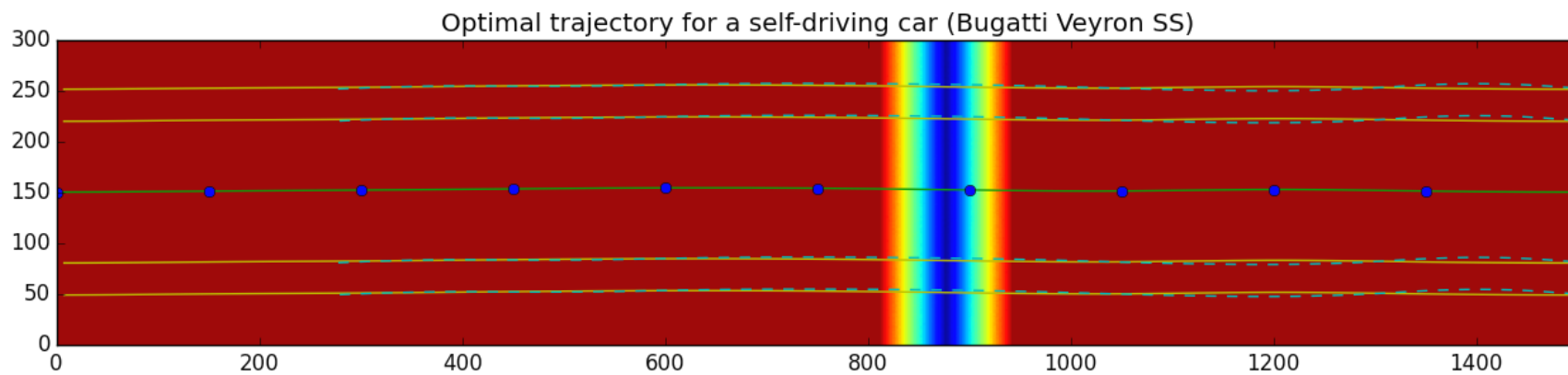
Тестування проводилось для моделі автомобіля з габаритними характеристиками Bugatti Veyron SS на шматку дорожньої полоси розмірами 3м x 15м.



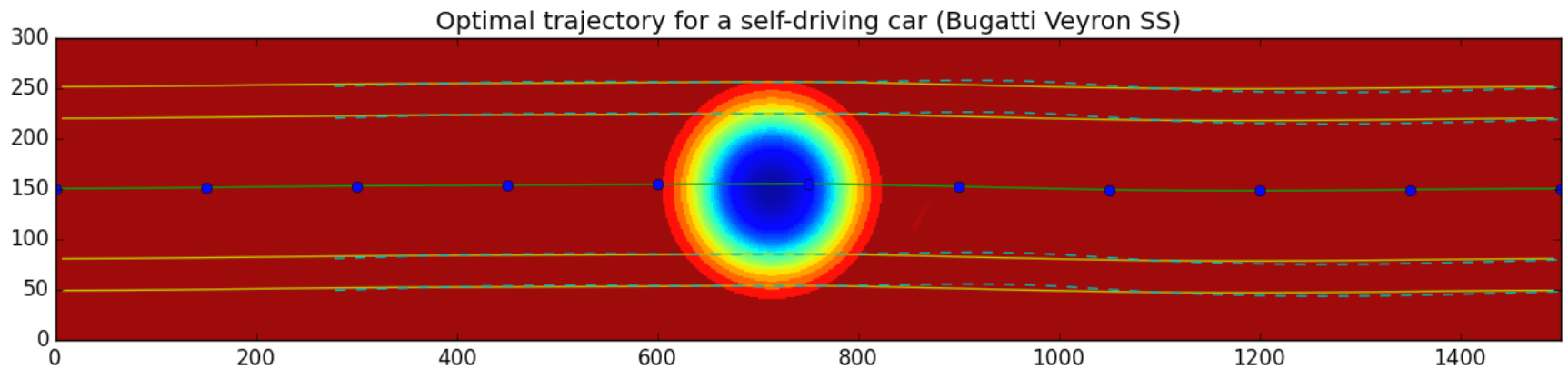
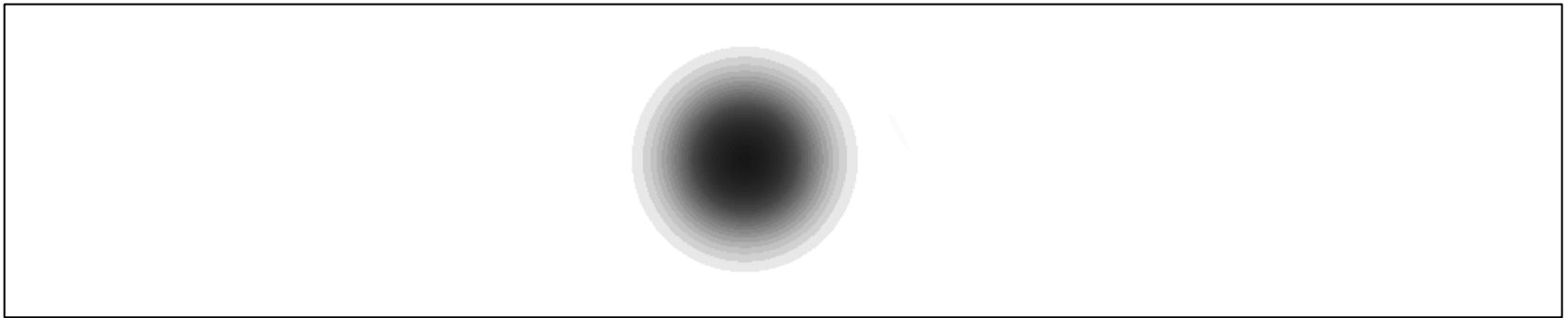
Тестування розв'язку



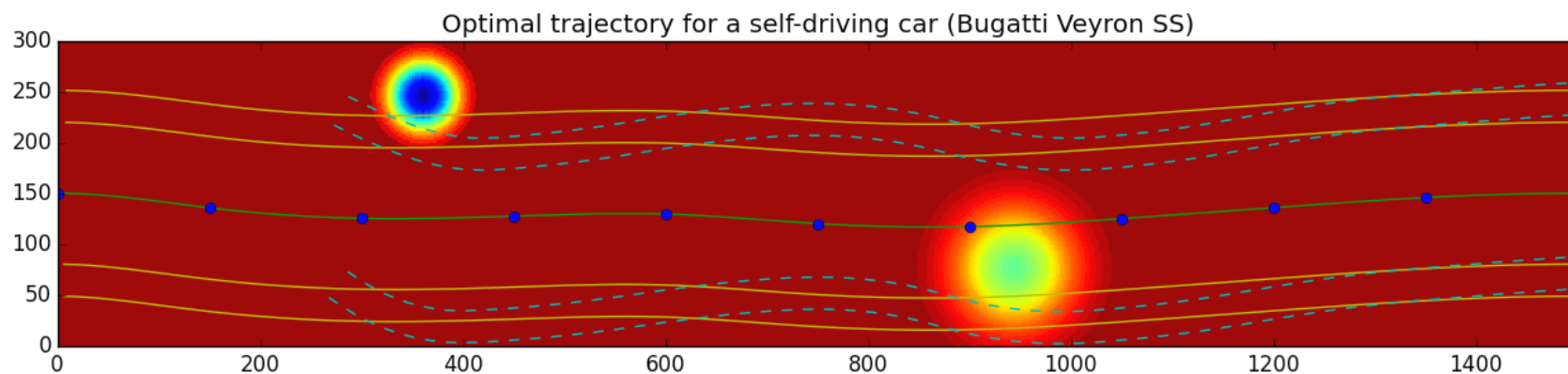
Тестування розв'язку



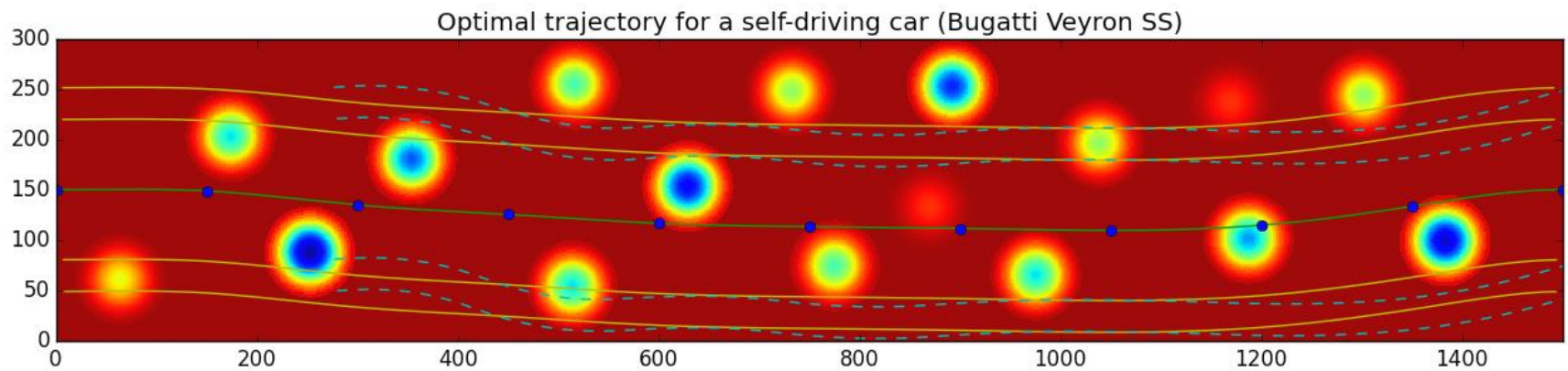
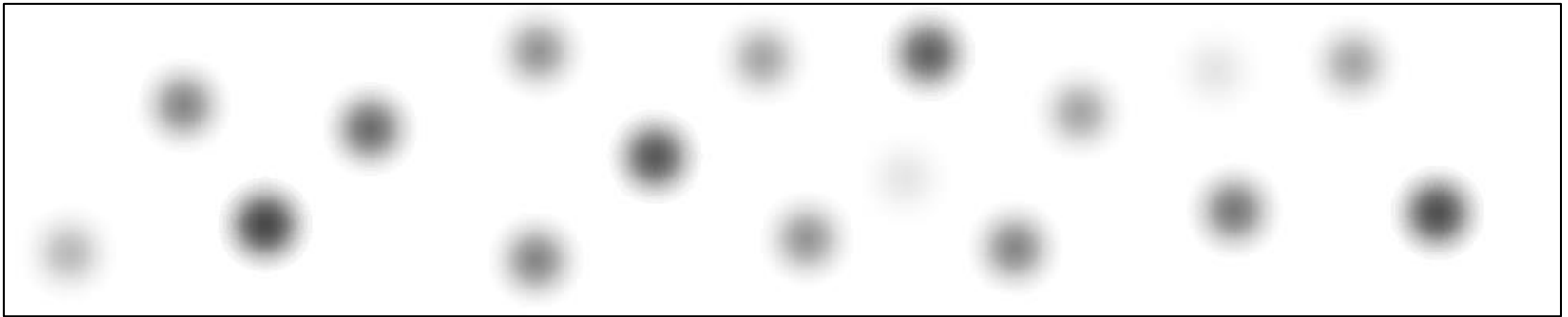
Тестування розв'язку



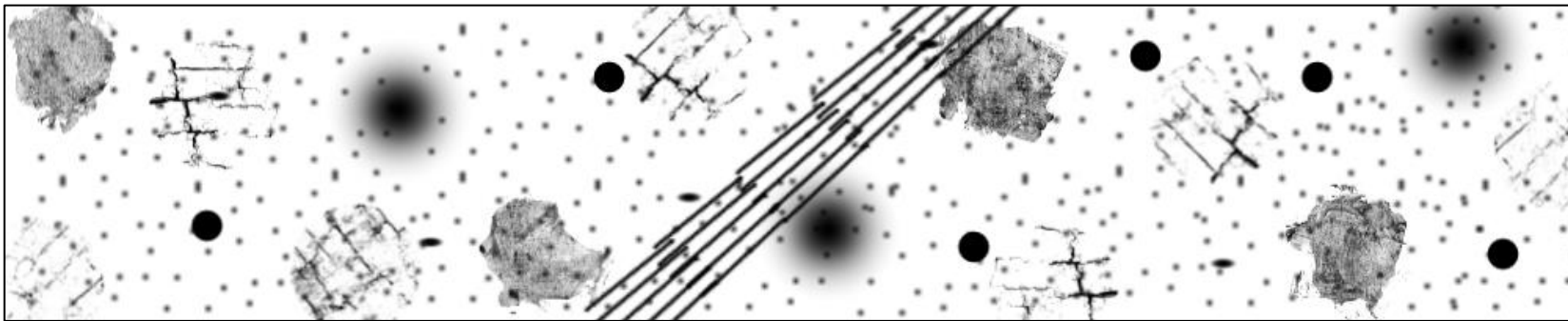
Тестування розв'язку



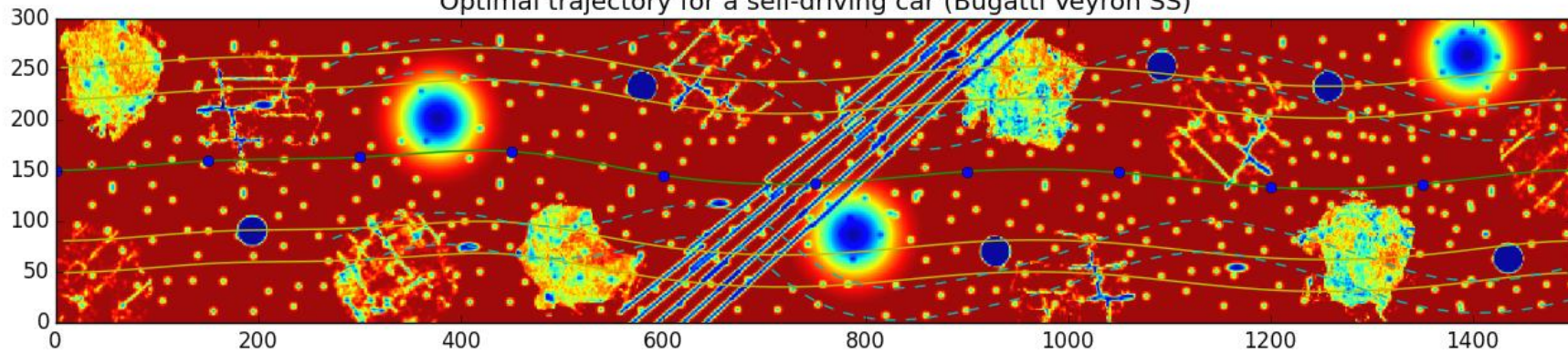
Тестування розв'язку



Тестування розв'язку



Optimal trajectory for a self-driving car (Bugatti Veyron SS)



Результати

Оптимальна траєкторія руху по ушкодженій дорозі (О. Башук):

- + Врахування габаритних характеристик автомобіля;
- + Врахування геометрії руху автомобіля;
- + Врахування особливостей руху по пошкодженій дорозі;
- + Адекватність: результати алгоритму узгоджуються з природними очікуваннями;
- + Час роботи не залежить від ступеня зруйнованості;
- Реалізація мовою Python працює довго (час роботи може бути значно покращено при реалізації мовою, що компілюється – наприклад, C++)