# Case Study: Self-Driving Cars

## Module 2

### Khái niệm chung về Tác nhân (Agent)

Là một thực thể nhận biết môi trường thông qua **cảm biến (sensors)** và tác động lên môi trường thông qua **cơ cấu chấp hành (actuators)**.

**- Môi trường (Environment):** Mọi thứ bên ngoài tác nhân.

**- Hàm Tác nhân (Agent Function):** Được coi là "bộ não" của tác nhân. Nó nhận đầu vào là các **tri giác (percepts)** (dữ liệu từ cảm biến) và quyết định **hành động (action)** nào cần thực hiện.

**- Tác nhân lý trí (Rational Agent):** Một tác nhân lý trí là tác nhân luôn chọn hành động để **tối đa hóa thước đo hiệu suất (performance measure)** của mình, dựa trên bằng chứng từ chuỗi tri giác và kiến thức có sẵn.

### Các Loại Tác nhân và Cách Hoạt động

Dựa trên cách thức ra quyết định, có thể chia tác nhân thành các loại sau:

#### Tác nhân Phản xạ Đơn giản (Simple Reflex Agent)

**- Nguyên tắc:** Ra quyết định **chỉ dựa vào tri giác hiện tại**, không có bộ nhớ và không quan tâm đến quá khứ.

**- Cơ chế:** Sử dụng một bộ **quy tắc điều kiện-hành động (condition-action rules)** được xây dựng sẵn.

**- Ưu điểm:** Rất nhanh và hiệu quả trong các môi trường đơn giản.

**- Hạn chế:** Không thể đưa ra quyết định tối ưu trong các tình huống phức tạp hoặc khi cần thông tin từ quá khứ.

**- Ví dụ:** Một máy hút bụi đơn giản di chuyển ngẫu nhiên và khi phát hiện bụi, nó sẽ hút.

#### Tác nhân Phản xạ Dựa trên Mô hình (Model-based Reflex Agent)

**- Nguyên tắc:** Có **bộ nhớ (memory)** dưới dạng **biến trạng thái (state variable)** để theo dõi các khía cạnh của môi trường không thể quan sát được ngay lập tức.

**- Cơ chế:**

+ Sử dụng một **hàm chuyển đổi (transition function)** để cập nhật trạng thái dựa trên hành động cuối cùng và tri giác mới.

+ Có nhiều thông tin hơn (trạng thái) để đưa ra quyết định tốt hơn.

**- Ưu điểm:** Khả năng đưa ra quyết định phức tạp hơn tác nhân phản xạ đơn giản.

**- Ví dụ:** Một máy hút bụi ghi nhớ những nơi đã dọn dẹp để không quay lại đó.

#### Tác nhân Dựa trên Mục tiêu (Goal-based Agent)

**- Nguyên tắc:** Có một **mục tiêu (goal state)** xác định cần đạt được và sẽ kết thúc khi đạt được mục tiêu đó.

**- Cơ chế:** Sử dụng **thuật toán tìm kiếm (search algorithms)** để lập **kế hoạch (plan)** một chuỗi hành động dẫn đến mục tiêu.

- **Thước đo hiệu suất (Performance measure):** **Chi phí để đạt được mục tiêu**. Thường là tổng chi phí của chuỗi hành động.

**- Ví dụ:** Một tác nhân giải đố Rubik's Cube. Nó sẽ lập kế hoạch các bước đi để đạt được trạng thái cuối cùng (các mặt cùng màu).

#### Tác nhân Dựa trên Tiện ích (Utility-based Agent)

**- Nguyên tắc:** Đánh giá **sự đáng mong muốn (desirability)** của mỗi trạng thái có thể có.

**- Cơ chế:** Sử dụng một **hàm tiện ích (utility function)** để gán giá trị cho mỗi trạng thái. Mục tiêu là chọn hành động để duy trì ở các trạng thái có tiện ích cao.

**- Thước đo hiệu suất (Performance measure):** **Tổng tiện ích dự kiến được chiết khấu theo thời gian**. Điều này cho phép tác nhân tính toán cả phần thưởng ngắn hạn và dài hạn.

**- Ví dụ:** Một robot thám hiểm sao Hỏa ưu tiên những trạng thái mà pin không ở mức thấp nguy hiểm. Nó sẽ lập kế hoạch hành động để tối đa hóa thời gian hoạt động.

### Trạng thái và Cách biểu diễn (State Representation)

**- Trạng thái (State):** Giúp theo dõi môi trường và vị trí của tác nhân trong môi trường. Nó còn được gọi là **trạng thái hệ thống (system state)**.

**- Không gian trạng thái (State space):** Tập hợp tất cả các trạng thái có thể có. Tập này thường rất lớn.

**- Các cách biểu diễn trạng thái:**

**+ Nguyên tử (Atomic):** Một nhãn đơn giản cho "hộp đen". Ví dụ: A, B, C.

**+ Phân rã (Factored):** Một tập hợp các giá trị thuộc tính được gọi là **fluents**. Ví dụ: [vị trí = trái, trạng thái = sạch, nhiệt độ = 75 độ F]. Cách biểu diễn này cho phép tính toán và so sánh khoảng cách giữa các trạng thái.

## Case Study: Self-Driving Cars

### Biểu diễn trạng thái của xe tự lái

Để thiết kế một biểu diễn trạng thái có cấu trúc (**factored representation**) cho một chiếc xe tự lái, chúng ta cần xác định các biến (fluents) mô tả trạng thái hệ thống và các hành động có thể gây ra sự thay đổi trạng thái đó.

**a) Các biến (Fluents) cần có:**

**- Vị trí và định hướng:**

+ *x, y*: Tọa độ xe.

+ *hướng*: Góc xe đang quay.

**- Tình trạng của xe:**

+ *vận tốc*: Tốc độ hiện tại.

+ *trạng thái động cơ*: Bật/tắt.

+ *trạng thái phanh*: Đang phanh/không phanh.

**- Trạng thái môi trường:**

+ *vị trí các xe khác*: Tọa độ và vận tốc của các xe lân cận.

+ *trạng thái đèn giao thông*: Xanh, đỏ, vàng.

+ *tín hiệu trên đường*: Các biển báo, vạch kẻ đường.

+ *điều kiện thời tiết*: Mưa, nắng, sương mù.

**- Mục tiêu và lộ trình:**

+ *điểm đến*: Tọa độ cuối cùng.

+ *lộ trình*: Chuỗi các điểm đã lên kế hoạch.

**b) Các hành động có thể gây ra sự thay đổi trạng thái (Transitions):**

+ *tăng tốc*: Làm thay đổi vận tốc và tọa độ.

+ *giảm tốc/phanh*: Giảm vận tốc.

+ *rẽ trái/phải*: Thay đổi hướng.

+ *chuyển làn*: Thay đổi vị trí tương đối so với làn đường.

**c) Sơ đồ chuyển đổi trạng thái nhỏ:** Một sơ đồ đơn giản có thể mô tả sự chuyển đổi từ trạng thái B sang trạng thái C.

**- Trạng thái B:** Xe đang đi với vận tốc 50km/h trên làn đường bên phải, cách xe phía trước 20m.

**- Hành động:** phanh.

**- Trạng thái C:** Vận tốc giảm xuống 30km/h, khoảng cách với xe phía trước giảm xuống 10m.

### Xe tự lái là loại tác nhân thông minh nào?

#### . Does it collect utility over time? (Xe tự lái có thu thập tiện ích theo thời gian không?)

Trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo, một tác nhân dựa trên tiện ích (Utility-based Agent) không chỉ tối đa hóa hiệu suất tại một thời điểm duy nhất, mà còn tìm cách tối đa hóa tổng tiện ích theo thời gian. Đối với xe tự lái, điều này có nghĩa là nó không chỉ quan tâm đến hành động tiếp theo, mà còn phải tính toán để đạt được mục tiêu cuối cùng một cách tối ưu nhất trong suốt hành trình.

Cụ thể, xe tự lái cần phải:

**- Tích lũy tiện ích theo thời gian:** Các hành động mang lại lợi ích sẽ cộng dồn theo thời gian. Ví dụ, một hành động giúp xe đi nhanh hơn (tăng tốc) sẽ tạo ra tiện ích, và hành động này sẽ được cộng dồn trong suốt quá trình lái xe.

**- Chiết khấu tiện ích trong tương lai:** Tiện ích có thể được chiết khấu theo thời gian, tức là tiện ích đạt được ngay lập tức có thể được ưu tiên hơn một chút so với tiện ích trong tương lai xa. Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là xe sẽ bỏ qua các lợi ích lâu dài. Ngược lại, nó phải cân bằng giữa các mục tiêu ngắn hạn (ví dụ: tránh một chướng ngại vật ngay lập tức) và dài hạn (ví dụ: đến đích đúng giờ).

#### . How would the utility for each state be defined? (Tiện ích cho mỗi trạng thái được định nghĩa như thế nào?)

Việc định nghĩa hàm tiện ích (utility function) cho xe tự lái là một bài toán phức tạp và là trọng tâm của nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực này. Hàm tiện ích của một trạng thái có thể được định nghĩa bằng một công thức toán học kết hợp nhiều yếu tố khác nhau. Mục tiêu là để xe tự lái có thể so sánh và lựa chọn giữa các hành động có khả năng xảy ra, dựa trên lợi ích dự kiến của mỗi hành động đó.

Một hàm tiện ích cho xe tự lái thường được định nghĩa dựa trên các yếu tố chính sau đây:

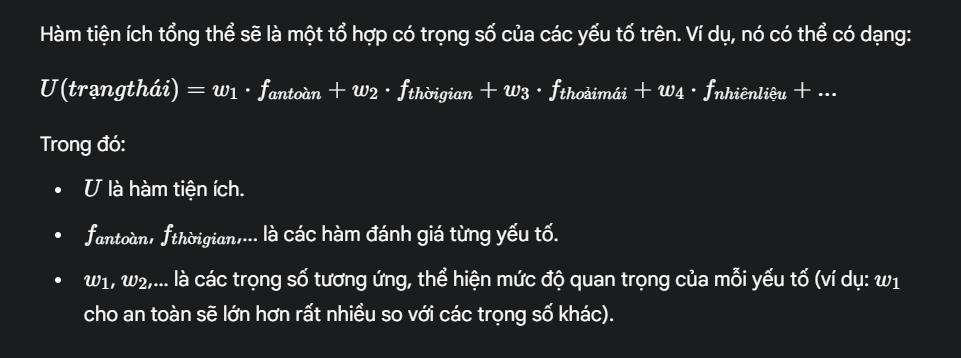
**- An toàn (Safety):** Đây là yếu tố quan trọng nhất. Một trạng thái sẽ có tiện ích cực kỳ thấp (hoặc một giá trị âm rất lớn) nếu nó dẫn đến va chạm, tai nạn, hoặc gây nguy hiểm cho người ngồi trên xe, người đi bộ và các phương tiện khác. Hàm tiện ích sẽ gán trọng số cao nhất cho việc duy trì một trạng thái an toàn.

**- Thời gian di chuyển (Travel Time):** Xe tự lái cần tối ưu hóa thời gian để đến đích. Do đó, một trạng thái trên đường đi mà xe đang di chuyển nhanh và hiệu quả sẽ có tiện ích cao hơn.

**- Sự thoải mái (Comfort):** Xe không chỉ cần đi nhanh mà còn cần di chuyển một cách êm ái, tránh các hành động tăng/giảm tốc đột ngột hoặc phanh gấp không cần thiết. Một trạng thái mà xe đang di chuyển một cách mượt mà và thoải mái cho hành khách sẽ có tiện ích cao hơn.

**- Hiệu suất nhiên liệu/năng lượng (Fuel/Energy Efficiency):** Việc tối ưu hóa lượng nhiên liệu tiêu thụ cũng là một phần của hàm tiện ích. Một trạng thái mà xe đang di chuyển ở vận tốc tiết kiệm nhiên liệu sẽ có tiện ích cao hơn.

**- Tuân thủ luật lệ giao thông (Adherence to Traffic Laws):** Việc tuân thủ các quy tắc như tốc độ, đèn giao thông, và vạch kẻ đường là yếu tố không thể thiếu. Một trạng thái mà xe tuân thủ nghiêm ngặt luật lệ sẽ có tiện ích cao hơn.



#### . Does it have a goal state? (Liệu xe tự lái có trạng thái mục tiêu (goal state) không?)

**Có**. **Một** chiếc xe tự lái hoạt động như một **tác nhân dựa trên mục tiêu (Goal-based Agent)**. Đặc điểm của loại tác nhân này là nó có một trạng thái mục tiêu được xác định rõ ràng và sẽ lập kế hoạch một chuỗi hành động để đạt được trạng thái đó.

**Mục tiêu của xe tự lái** có thể được định nghĩa là **đến được một vị trí cụ thể** một cách an toàn và hiệu quả.

**- Trạng thái ban đầu (initial state):** Là vị trí hiện tại của xe.

**- Trạng thái mục tiêu (goal state):** Là vị trí đích mà người dùng đã nhập vào hệ thống định vị (ví dụ: một địa chỉ nhà, một trung tâm mua sắm, v.v.).

Để đạt được trạng thái mục tiêu, xe tự lái sẽ thực hiện một quá trình như sau:

**- Định nghĩa vấn đề (Problem formulation):** Xác định trạng thái ban đầu và trạng thái mục tiêu.

**- Lập kế hoạch (Planning):** Tìm kiếm một lộ trình (chuỗi các trạng thái và hành động) từ trạng thái ban đầu đến trạng thái mục tiêu. Quá trình này thường sử dụng các thuật toán tìm kiếm (search algorithms) để tìm ra con đường tốt nhất.

**- Thực hiện (Execution):** Thực hiện các hành động đã được lên kế hoạch trong môi trường thực. Trong quá trình này, xe sẽ liên tục cập nhật các tri giác từ cảm biến để điều chỉnh lộ trình nếu cần thiết (ví dụ: có chướng ngại vật bất ngờ xuất hiện).

#### . Does it store state information.(Xe tự lái có lưu trữ thông tin trạng thái không?)

Một chiếc xe tự lái hoạt động như một "tác nhân phản xạ dựa trên mô hình" (Model-based Reflex Agent) và "tác nhân dựa trên mục tiêu" (Goal-based Agent), cả hai đều yêu cầu lưu trữ thông tin về môi trường và bản thân tác nhân.

**- Bộ nhớ (Memory):** Xe tự lái cần có một bộ nhớ để lưu trữ các biến trạng thái (state variables). Bộ nhớ này giúp xe duy trì một "mô hình nội bộ" về thế giới, bao gồm những khía cạnh của môi trường mà nó không thể quan sát được ngay lập tức.

**- Dữ liệu cảm biến:** Xe tự lái thu thập một lượng lớn dữ liệu từ các cảm biến như camera, LiDAR, radar và GPS. Các dữ liệu này được sử dụng để xây dựng và cập nhật mô hình trạng thái của môi trường.

**- Thông tin cá nhân:** Ngoài dữ liệu về môi trường, xe cũng có thể lưu trữ thông tin cá nhân của người lái và hành khách để tùy chỉnh các cài đặt như vị trí ghế ngồi hay sở thích giải trí.

#### . How would they be defined (atomic/factored)? (Trạng thái được định nghĩa như thế nào (nguyên tử/phân rã)?)

Trạng thái của một chiếc xe tự lái được định nghĩa bằng cách sử dụng **biểu diễn phân rã (factored representation)**.

**- Biểu diễn nguyên tử (Atomic representation):** Cách này coi mỗi trạng thái là một "hộp đen" duy nhất, không có cấu trúc bên trong. Ví dụ, trong một bài toán tìm đường đơn giản, mỗi thành phố có thể được xem là một trạng thái nguyên tử. Tuy nhiên, cách này không phù hợp với xe tự lái vì môi trường quá phức tạp và cần nhiều thông tin chi tiết.

**- Biểu diễn phân rã (Factored representation):** Đây là cách tiếp cận được sử dụng cho xe tự lái. Mỗi trạng thái được định nghĩa bởi một tập hợp các thuộc tính hoặc biến (variables) có giá trị riêng biệt. Điều này cho phép hệ thống có một mô hình chi tiết và có thể phân tích môi trường một cách hiệu quả hơn.

**Các biến (fluents) trong biểu diễn phân rã của xe tự lái có thể bao gồm:**

**- Vị trí và định hướng của xe:** Tọa độ (x, y), hướng di chuyển.

**- Vận tốc:** Tốc độ hiện tại.

**- Trạng thái của xe:** Mức nhiên liệu/pin, tình trạng lốp xe, trạng thái động cơ.

**- Thông tin về môi trường:**

+ Vị trí và tốc độ của các xe khác.

+ Trạng thái đèn giao thông (xanh, đỏ, vàng).

+ Vị trí của người đi bộ.

+ Điều kiện thời tiết.

+ Tình trạng đường đi (ướt, khô, có chướng ngại vật).

#### . Does it use simple rules based on the current percepts? ( Liệu nó có sử dụng các quy tắc đơn giản dựa trên các nhận thức hiện tại không?)

Theo lý thuyết về các loại tác nhân, một tác nhân chỉ dựa vào các quy tắc đơn giản được gọi là **tác nhân phản xạ đơn giản (Simple Reflex Agent)**. Loại tác nhân này hoạt động bằng cách áp dụng một bộ quy tắc "nếu-thì" (if-then) trực tiếp lên tri giác hiện tại.

Trong trường hợp của xe tự lái, cơ chế này được áp dụng cho các hành động khẩn cấp và tức thời:

**Ví dụ:**

**+ "Nếu"** cảm biến phát hiện một chướng ngại vật phía trước trong một khoảng cách nguy hiểm, **"thì"** thực hiện hành động phanh khẩn cấp.

**+ "Nếu"** đèn tín hiệu giao thông là màu đỏ, **"thì"** dừng xe.

Tuy nhiên, xe tự lái không thể chỉ dựa vào các quy tắc đơn giản này. Một chiếc xe chỉ hoạt động theo nguyên tắc phản xạ đơn giản sẽ không thể xử lý được các tình huống phức tạp hơn, ví dụ như:

**- Môi trường ngẫu nhiên và động:** Không phải lúc nào cũng có thể dự đoán được các chướng ngại vật hay hành vi của các phương tiện khác.

**- Mục tiêu phức tạp:** Chỉ dừng lại khi đèn đỏ không đủ để đạt được mục tiêu cuối cùng là đến đích.

**- Cần bộ nhớ:** Xe cần "nhớ" đã đi qua những đâu để không đi lại trên một con đường đã đi.

Vì vậy, một chiếc xe tự lái hiện đại là sự kết hợp của nhiều loại tác nhân:

- Nó sử dụng **tác nhân phản xạ đơn giản** cho các hành động tức thời.

- Nó sử dụng **tác nhân phản xạ dựa trên mô hình** để lưu trữ và sử dụng thông tin trạng thái.

- Nó sử dụng **tác nhân dựa trên mục tiêu** để lập kế hoạch và tìm đường đi.

- Nó sử dụng **tác nhân dựa trên tiện ích** để đưa ra các quyết định phức tạp hơn, cân bằng giữa an toàn, tốc độ và sự thoải mái.

### Why is this so hard? (Tại sao việc phát triển xe tự lái lại khó khăn?)

**- Môi trường phức tạp:** Xe tự lái hoạt động trong một môi trường rất phức tạp, nơi không phải mọi thứ đều có thể quan sát được (phần nào quan sát được - **partially observable**), mang tính ngẫu nhiên (**stochastic**), và luôn thay đổi (**dynamic**).

**- Hạn chế về lý trí (Bounded Rationality):** Xe chỉ có thể sử dụng một phần "lý trí" vì có những giới hạn về cảm biến và sức mạnh tính toán. Nó không thể xử lý mọi thông tin một cách hoàn hảo như một tác nhân lý trí lý tưởng.

**- Cần sự hợp tác của nhiều tác nhân:** Một chiếc xe tự lái thực tế không phải là một tác nhân đơn lẻ, mà là một hệ thống gồm nhiều tác nhân khác nhau cùng phối hợp hoạt động.