

Panoramica su Veicoli Intelligenti Autonomi

Davide Foschi

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Campus di Cesena

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria e Scienze Informatiche

davide.foschi7@studio.unibo.it

Tabella dei Contenuti

Tabella dei Contenuti	1
Introduzione	2
1. Percezione e Modellazione dell'ambiente	3
1.1. Road detection and Tracking.....	3
1.2. Vehicle Detection and Tracking.....	4
1.3. Multiple-Sensor based entities detection	5
2. Localizzazione del Veicolo e Navigazione	7
2.1. Sensori di Posizionamento	7
2.2. Global Map e Situation Awareness	8
3. Path-Planning e Decision-Making.....	9
3.1. Rappresentazione e configurazione dello spazio.....	9
3.2. Algoritmi di path planning.....	10
4. Controllo del movimento del veicolo	12
4.1. Controllo del movimento laterale	12
4.2. Controllo del movimento longitudinale	13
5. Conclusioni.....	13
Riferimenti	14

Introduzione

Le tecnologie per veicoli intelligenti si sono sviluppate rapidamente in tutto il mondo. Sono state riconosciute come tecnologie che permettono di migliorare la sicurezza stradale, l'efficienza dei trasporti e la qualità della guida. Rispetto a sistemi robotici mobili indoor, il contesto urbano introduce nuove problematiche e sfide da affrontare. In generale, un veicolo intelligente deve essere in grado di percepire l'ambiente, localizzarsi e costruire mappe, pianificare un percorso e muoversi nello spazio rispettando regole e vincoli. Un'altra sfida è rappresentata dalla grossa quantità di dati che un sistema outdoor di questo tipo deve elaborare, a causa della presenza di molti sensori di varia natura.

Questo articolo si pone l'obiettivo di offrire una panoramica sullo stato della ricerca sui veicoli intelligenti, mettendo alla luce i problemi da affrontare. Inoltre vengono proposte le principali tecniche e tecnologie abilitanti per la risoluzione di tali problemi.

L'articolo è suddiviso in cinque parti. Il primo capitolo **Percezione e Modellazione dell'ambiente** presenta la percezione dell'ambiente, differenziandosi in rilevamento delle corsie e percezione di ostacoli e veicoli. Il secondo capitolo **Localizzazione del Veicolo e Navigazione** presenta la localizzazione del veicolo e introduce il concetto di mappa. Il terzo capitolo **Path-Planning e Decision-Making** offre una panoramica sul path planning ispirandosi alla robotica e descrivere la costruzione e configurazione delle mappe. Il quarto capitolo **Controllo del movimento del veicolo** presenta il controllo laterale e longitudinale del veicolo. Infine, l'ultimo capitolo **Conclusioni** riassume ciò è stato affrontato in questo articolo.

1. Percezione e Modellazione dell'ambiente

1.1. Road detection and Tracking

Road Detection and Tracking riguarda un insieme di operazioni atte all'analisi da parte del veicolo delle caratteristiche delle strade nelle quali sta navigando. Queste operazioni sono necessarie in molte applicazioni legate ai veicoli autonomi e intelligenti, come la Lane Departure Warning (LDW), Anti-sleep systems, driver assistance e safety warning systems. Inoltre rappresentano il punto di partenza per descrivere e modellare l'ambiente circostante, insieme al rilevamento di veicoli e ostacoli.

Più nel dettaglio, Road Detection vuole dire localizzazione dei confini delle corsie in assenza di conoscenze a priori. Questa localizzazione avviene rispetto alla posizione corrente del veicolo. Allo stesso tempo, Tracking consente al sistema di determinare dei parametri per descrivere la geometria della strada.

Le tecnologie abilitanti comprendono sia sensori attivi, quali radar e lidar, che telecamere. Tuttavia, quest'ultime rappresentano l'area di ricerca più prominente. Quest'ultime hanno attirato sempre di più l'attenzione per via dei vantaggi che hanno rispetto all'utilizzo di sensori attivi.

I vantaggi principali degli approcci basati sull'utilizzo di telecamere sono i seguenti:

- Le telecamere ottengono informazioni in maniera non invasiva. Inoltre i dati così ottenuti non sono influenzati dalla presenza di altre telecamere.
- Non è necessario modificare l'infrastruttura delle strade. Questo è fondamentale in applicazioni reali.
- Le immagini ottenute dalle telecamere contengono informazioni dettagliate sull'ambiente stradale, contrariamente ai sensori attivi.

Allo stesso tempo, l'utilizzo di telecamere comporta alcuni svantaggi:

- I sensori visivi sono meno robusti rispetto ai sensori attivi in condizioni di illuminazione estrema, quali pioggia, nebbia e notte.
- La grande quantità di informazioni ottenibili dalle immagini rappresentano un problema in applicazioni real-time.
- La presenza di ombre può cambiare colori e texture dell'ambiente, aumentando la difficoltà della rilevazione delle linee delle corsie.
- Veicoli e ostacoli potrebbero occludere alcune parti della strada, causando una discontinuità nelle linee delle corsie.

In genere, le tecniche che comprendono sensori visivi si basano su diverse assunzioni che riducono la complessità del problema.

- Contrasto elevato fra linee divisorie e gli altri elementi dell'ambiente.
- Continuità delle linee
- Regioni di interesse

- Struttura della strada

Le tecniche adottate per Road Detection sono varie e possono essere suddivisi in due macro-gruppi: Model-Based e Features-Based.

Approcci **Model-Based** si basano sull'utilizzo di un modello che descrive le possibili strutture delle corsie. Queste corsie vengono rappresentate da un insieme di parametri per descriverne la forma. In genere, i parametri vengono stimati utilizzando funzione di likelihood, trasformata di Hough, distribuzione chi-square, ecc. Le tecniche basate su modelli risultano molto robuste al rumore e dati mancanti, ma allo stesso tempo sono prive di flessibilità per modellare forme troppo particolari, rispetto ad approcci **Features-Based**. Questi si basano sull'estrazione di caratteristiche direttamente dall'immagine senza l'utilizzo di alcun template. In questo caso, si combinano informazioni di basso livello, quali linee e spigoli. Tuttavia, l'estrazione di features necessita di immagini ben definite e non impone alcun vincolo sulla geometria delle corsie.

Alcuni esempi di sistemi per Road Detection utilizzano modelli o estrazione di features in combinazione con altre tecniche, quali **reti neurali** e **algoritmi genetici**.

1.2. Vehicle Detection and Tracking

Al fine di realizzare sistemi veicolari autonomi è fondamentale percepire la presenza di altri veicoli nei dintorni, al fine di evitare incidenti. Tali sistemi consentirebbero ai conducenti di ottenere informazioni su veicoli nelle vicinanze in anticipo, come ad esempio vicinanza e velocità di percorrenza, al fine di evitare incidenti potenzialmente pericolosi.

Veicoli di tutti i giorni possiedono tutt'ora sistemi intelligenti in grado di aiutare gli automobilisti durante la guida. Un classico esempio è adaptive cruise control (ACC), il quale sfrutta dei sensori di vicinanza per rilevare la presenza di veicoli di fronte a sé. Tuttavia, sistemi più complessi in grado di ottenere più informazioni rappresentano una sfida, soprattutto per quanto riguarda applicazioni real-time.

Come già visto nel Rilevamento delle corsie, a livello tecnologico la scelta può ricadere fra sensori attivi e sensori visivi. Al giorno d'oggi, i sistemi basati sull'utilizzo di radar hanno un costo maggiore rispetto a quelli costruiti con moduli visivi, avendo allo stesso tempo un campo visivo più stretto e una pessima visione laterale. Per queste ragioni, la maggior parte degli studi si è concentrata sull'utilizzo di telecamere.

Le tecniche adottate per Vehicle Detection sono simili a quelle presentate precedentemente nel rilevamento delle corsie. Si sfruttano caratteristiche estratte dalle immagini per identificare regione dell'immagine nelle quali potrebbe essere presente un veicolo. Generalmente, approcci basati sull'estrazione di features effettuano operazioni riguardanti sia la geometria delle forme, quali proporzione dei veicoli e prospettiva, sia la composizione dei colori.

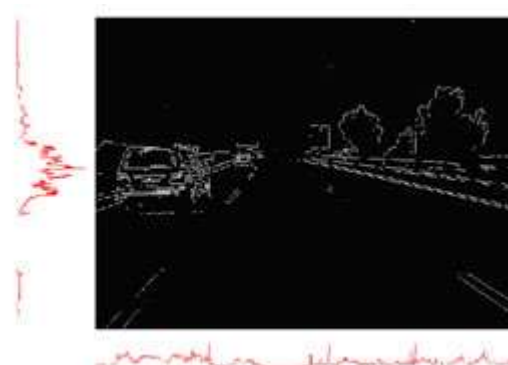


Figura 1 - Algoritmo di estrazione dei bordi

Questa tecnica è spesso combinata con l'utilizzo di immagini multi scala, dove l'immagine originale viene scalata a risoluzioni inferiori per ridurre il rumore presente nell'immagine stessa.

Altre tecniche comportano la suddivisione dell'immagine di regioni di interesse (Regions of Interest, ROI) per individuare la presenza di più veicoli simultaneamente, eventualmente vicini fra loro, in modo da evitare che l'algoritmo individui una singola soluzione ottima: questa soluzione risolve il problema per cui veicoli vicini potrebbero prevenire il rilevamento di veicoli posti a distanza maggiore.



Figura 2 - Ipotesi di veicoli generate rispettivamente con e senza ROI

Altri studi hanno coinvolto l'utilizzo di tecniche di classificazione, come SVM, in combinazione con ROI. Essi prevedono l'utilizzo di una SVM per validare i possibili veicoli identificati attraverso tecniche di filtering e rappresentazioni multi risoluzione delle immagini.

1.3. Multiple-Sensor based entities detection

Come già detto in precedenza, approcci basati su immagini consentono di realizzare sistemi robusti capaci di rilevare in maniera efficiente le corsie di marcia e le vetture nelle vicinanze, offrendo inoltre una stima delle loro traiettorie.

Detto ciò, la maggior parte di queste tecniche è soggetta a diverse problematiche già accennate, quali sensibilità alle intemperie e difficile gestione di ambienti soggetti a luminosità estrema, oltre al fatto che l'estrazione di informazioni delle immagini spesso richiede calcoli onerosi. Inoltre l'utilizzo di singole telecamere complica la stima delle distanze.

Viceversa, per quanto riguarda sistemi basati su radar/lidar, essi non soffrono di queste problematiche. Negli ultimi anni la ricerca ha posto molta attenzione su sistemi che sfruttassero i vantaggi di entrambi gli approcci Vision-based e Sensor-based.

Si introduce il concetto di **sensor data fusion**, ovvero tecniche che permettano di sfruttare al meglio informazioni eterogenee al fine di descrivere l'ambiente circostante. Riassumendo, l'obiettivo è quello di:

- Migliorare l'accuratezza dei rilevamenti, riducendo i falsi positivi.
- Incrementare la robustezza dei sistemi in qualsiasi condizione atmosferica.
- Aumentare il campo visivo.
- Arricchire il livello di dettaglio della descrizione degli oggetti (corsie, altri veicolo, ecc).

Nei vari studi effettuati sull'argomento si sfruttano varianti di tecniche già viste negli approcci Vision-based, coinvolgendo l'utilizzo di radar per semplificare il problema. Citandone alcuni, si utilizzano tecniche basate su modelli, ipotesi, stime, classificatori.

I sistemi adibiti alla fusione delle informazioni sono fondamentali e, generalizzando, sono composti dai seguenti moduli:

- Spatio-temporal alignment: questo modulo si occupa dell'allineamento delle informazioni dei sensori. A livello temporale, il modulo gestisce le tempistiche delle diverse frequenze di campionamento dei sensori e li sincronizza con un timer intrinseco. A livello spaziale, il modulo gestisce le posizioni e orientamento degli stessi.
- Data association: questo modulo assegna i dati dei sensori ai vari modelli delle entità presenti nell'ambiente. Dati non assegnati generano nuove entità. Esempi di entità sono automobili, camion, motociclette, ecc...
- State estimation: questo modulo unisce informazioni provenienti da vari sensori riguardo a posizione, velocità, dimensioni, orientazione e altre caratteristiche per determinare i parametri del modello delle entità.
- Identity classification: questo modulo utilizza un classificatore multi-classe per determinare la presenza di veicoli, pedoni e altri ostacoli.

Un altro aspetto della sensor data fusion riguarda il livello di astrazione al quale questa operazione viene eseguita.

In una **fusione low-level**, i dati grezzi vengono raccolti e raggruppati in un unico modulo centrale. Il modulo in questione si occupa successivamente di allineare le informazioni che riceve. La fase di allineamento è quella più cruciale, in quanto il modulo deve poter gestire informazioni eterogenee a frequenze differenti. Allo stesso tempo le fasi successive risultano molto più accurate, in quanto tutti i dati risiedono nello stesso punto.

In una **fusione high-level**, i vari sensori eseguono singolarmente rilevamento e classificazione dei veicoli percepiti. Le informazioni così generate vengono successivamente unite da un modulo centrale. Per quanto riguarda il rilevamento di entità, soluzioni ottimali sono raggiunte solo se vengono rispettate certe condizioni. I sensori devono essere sincronizzati, devono essere in grado di rilevare oggetti se presenti e l'associazione (Data association) deve essere ottimale per ogni sensore. È possibile anche adottare una architettura più distribuita in cui non esiste un modulo

centrale e ogni sensore riceve le rilevazioni degli altri sensori e contribuisce alla soluzione globale. Ciò permette di aumentare l'affidabilità grazie alla ridondanza, ma riduce i tempi di esecuzione. Per quanto riguarda la classificazione, essa viene eseguita da un modulo centrale. Il vantaggio principale è che l'algoritmo di classificazione è indipendente dai sensori utilizzati. Tuttavia, le performance risultano inferiori rispetto all'utilizzo di dati grezzi.

2. Localizzazione del Veicolo e Navigazione

In ambito Autonomous Intelligent Vehicles, i veicoli devono essere in grado di determinare la propria posizione geografica rispetto all'ambiente e alle entità che lo popolano. In questa fase si uniscono informazioni provenienti da sotto sistemi adibiti alla localizzazione del veicolo con le informazioni elaborate in fase di modellazione dell'ambiente. Ciò permette di costruire una **global map**, ovvero una rappresentazione completa dello stato del veicolo, degli elementi che lo circondano e della geometria della strada. Queste informazioni saranno poi utilizzate in fase di Controllo del veicolo.

I sistemi adibiti alla localizzazione del veicolo devono affrontare alcune problematiche:

- Il rumore dei sensori influisce negativamente sulle informazioni legate alla posizione assoluta.
- Oltre alla posizione assoluta, si devono rilevare le relazioni fra il veicolo e gli oggetti circostanti, al fine di evitare collisioni.
- Gli ambienti urbani complicano l'utilizzo di sistemi GPS a causa della possibile perdita di segnale.

2.1. Sensori di Posizionamento

Le tecnologie più utilizzate sono il Global Navigation Satellite System (GNSS), Inertial Measurement Unit (IMU), e gli encoders.

GNSS si riferisce ad una costellazione di satelliti che utilizza segnali dallo spazio per fornire informazioni legate al tempo e alla posizione. Questo sistema è coadiuvato da sistemi chiamati Satellite-based augmentation Systems che ne aumentano le performance in termini di accuratezza, integrità, continuità e disponibilità. Al momento esistono 4 sistemi GNSS:

- Global Position System (GPS)
- GLONASS
- Galileo
- BeiDou/Compass

Fra questi, **GPS** è la tecnologia più utilizzata nel contesto di Vehicle Navigation. GPS è estremamente diffuso e utilizzato in qualsiasi ambito che necessiti di geolocalizzazione, grazie anche alla facilità d'uso. Tuttavia, GPS presenta alcuni svantaggi che in questo ambito sono da tenere in considerazione:

- La posizione ottenuta non è sufficientemente precisa (qualche metro).
- Il segnale GPS non può passare attraverso corpi solidi, per cui non è utilizzabile al chiuso.

- Può essere influenzato dalla presenza di grandi edifici: in generale può risultare inaffidabili in un contesto urbano.
- È sensibile a condizioni atmosferiche

Per quanto riguarda la precisione, differential GPS (DGPS) consente di migliorare la precisione fino a qualche centimetro di margine, anche se rimane il problema della ricezione di segnale in ambienti urbani.

Per compensare a questi svantaggi, spesso vengono proposti sistemi che combinano GPS con IMU ed encoders. Nello specifico, il GPS fornisce la posizione assoluta ad un IMU per l'inizializzazione della posizione del veicolo e per la correzione dei sensori. Dall'altra parte, l'IMU compensa gli errori casuali del GPS. Un esempio di IMU è **Dead Reckoning** (DR), in quale utilizza sensori quali giroscopi e accelerometri per calcolare la posizione corrente anche quando il GPS rileva una posizione imprecisa o non rileva affatto alcuna posizione.

2.2. Global Map e Situation Awareness

Il risultato della vehicle localization and navigation è utilizzato per costruire la Global Map. Come già accennato, essa combina le informazioni locale ottenute in fase di modellazione dell'ambiente con le informazioni relative alla posizione del veicolo e mappe locali. Queste informazioni sono utilizzate in fase di path planning per determinare il percorso da seguire per arrivare a destinazione, tenendo in considerazione regole legale all'ambiente, alla dinamica del veicolo, alla sicurezza, ecc..

La Global Map può essere combinata con mappe locali della zona urbana di interesse ottenendo una rappresentazione visiva dei dintorni consultabile direttamente dall'utente al volante, mediante l'utilizzo di un display, per comprendere la situazione stradale in maniera più immediata.

Ciò permette di incrementare direttamente la **Situation Awareness** dell'utente. Situation Awareness è la percezione degli elementi ed eventi ambientali in termini di spazio e tempo, la comprensione del loro significato e la proiezione del loro stato nell'immediato futuro.

Molti veicoli moderni dispongono di mappe elettroniche in grado di mostrare la propria posizione su una mappa geografica. Sistemi più all'avanguardia mostrano anche disposizione delle corsie, presenza di cartelli stradali, o più in generale, informazioni utili per una guida sicura.

3. Path-Planning e Decision-Making

Path planning è uno degli ambiti di studio più importanti quando si parla di sistemi robotici autonomi. Permette a questi sistemi di individuare il percorso più corto (o ottimale) fra due punti nello spazio. In un contesto urbano, il percorso ottimale consiste nel percorso che minimizza la distanza, riducendo al minimo il numero di sterzate e frenate da effettuare.

Path planning, come già accennato, richiede l'utilizzo di mappe globali e locali dell'ambiente e che il sistema sia consapevole della sua posizione in relazione ad esso.

Nel contesto di autonomous intelligent vehicles si parla di **Global Path Planning**, ovvero un modulo che calcola il percorso più veloce e sicuro basandosi sulle informazioni raccolte fino a quel momento.

Il processo di path planning è diviso in due step:

- Analisi delle informazioni e configurazione dello spazio
- Utilizzo di algoritmi per trovare il percorso migliore.

Questo modulo lavora ad un livello di astrazione più elevato: esso compie decisioni a lungo termine e non si occupa del controllo del veicolo al fine di garantire stabilità del movimento e rilevazione di ostacoli presenti localmente (Reactive Obstacle Avoidance).

Queste mansioni vengono delegate al **Local Navigator** utilizzando le informazioni rilevate dai vari sensori presenti nel sistema e che descrivono lo stato attuale del veicolo e dell'ambiente circostante.

Il modulo in questione aggiorna le mappe locali in base alle informazioni precedenti e decide i movimenti da compiere rispettando la dinamica del veicolo (Cambio di carreggiata, parcheggio, evitare ostacoli, recupero da situazioni anomale). Le decisioni dipendono strettamente sia dallo stato del veicolo che dallo stato dell'ambiente, locale e globale.

La combinazione di Global Path-Planning e Local Navigator consente al sistema di costruire un percorso dinamico in grado di portare il sistema stesso dal punto di partenza alla destinazione nel minor tempo possibile e garantendo, allo stesso tempo, la massima sicurezza.

3.1. Rappresentazione e configurazione dello spazio

In generale, la rappresentazione dello spazio è suddivisa in due categorie: continua o discreta.

Uno **spazio continuo** modella il mondo come un numero infinito di stati possibili. Eseguire Path Planning in questo tipo di spazio risulta più complicato a causa dei calcoli che devono essere effettuati. Tuttavia, una rappresentazione continua dello spazio è più adatta per Reactive Obstacle Avoidance.

In uno **spazio discreto** lo spazio è decomposto in un numero finito di stati in cui il veicolo può essere, e descrive tutte le caratteristiche proprie di ogni stato, quali posizione, orientamento, ecc. Esempi di rappresentazioni sono grafi e griglie. Per costruire un percorso, ognuno di questi stati possiede una funzione di transizione che determina quali nodi sono raggiungibili da esso. Un algoritmo esplora tutti gli stati applicando delle regole per ottenere la soluzione ottimale.

In queste categorie ricadono i 3 principali tipi di rappresentazione dello spazio utilizzati in robotica.

Cell decomposition methods decompongono lo spazio in regioni discrete non sovrapposte. Il risultato è un grafo in cui ogni nodo è adiacente a molteplici nodi. Le connessioni fra nodi sono definite dal connectivity graph. Il pianificatore, quindi, cerca all'interno del connectivity graph e genera un percorso costituito da una sequenza di nodi che il robot (o veicolo) devono attraversare per arrivare a destinazione.

Roadmap methods comprendo l'utilizzo di grafi che definisco come spostarsi da un punto all'altro. I metodi di costruzione della roadmap trovano le connessioni fra i vari punti nello spazio mediante una sequenza di curve monodimensionali. La roadmap è utilizzata dal pianificatore come una serie di percorsi standard da esplorare per raggiungere la destinazione in maniera ottimale. A differenza dei metodi Cell decomposition, la quantità di nodi rappresentati è inferiore: vengono selezionate soltanto le configurazioni più speciali. Ciò rende la costruzione del grafo più complicata, ma ne velocizza l'utilizzo. Uno grosso svantaggio delle roadmap è la difficoltà di aggiornare o riparare la mappa nel momento in cui il robot ottiene nuove informazioni perché, in genere, l'intera mappa deve essere ricostruita.

Potential Fields methods sono metodi sostanzialmente differenti dai precedenti. Invece di mappare lo spazio di ricerca, applicano funzioni matematiche sull'interno spazio in cui il robot potrebbe muoversi. Questi metodi trattano il robot come un punto che è influenzato da "campi di forza" generati dagli obiettivi e dagli ostacoli presenti nel mondo. Questi ultimi generano un campo di repulsione, mentre gli obiettivi generano un campo di attrazione. La forza di questi campi è direttamente proporzionale alla vicinanza del robot ad essi. La forza risultante di tutti i campi determina la direzione del movimento del robot. Questi metodi possono rappresentare lo spazio sia in maniera continua che discreta.

3.2. Algoritmi di path planning

Una volta scelto l'algoritmo di rappresentazione dello spazio è necessario scegliere l'algoritmo di ricerca più opportuno. Nel contesto proposto in questo articolo, i possibili algoritmi di ricerca possono essere suddivisi in 4 categorie.

Gli algoritmi **Depth-First** percorrono il grafo cercando di arrivare ad una soluzione il più velocemente possibile. Ciò vuole dire che i percorsi non vengono esplorati tutti contemporaneamente. L'algoritmo esplora un singolo percorso finché non dimostra che il suddetto sia un percorso valido o meno.

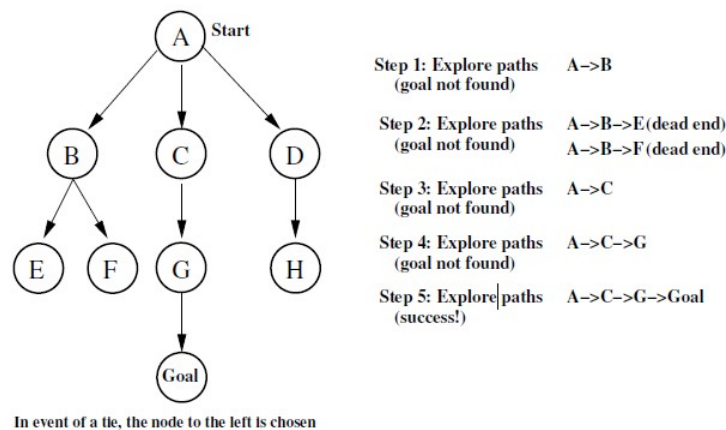


Figura 3 – Esempio di algoritmo Depth-First

Questi algoritmi sono adatti per problemi in cui esistono molteplici soluzioni ammissibili e in cui è sufficiente ottenerne una delle tante. In queste condizioni, la velocità di esplorazione del grafo è inferiore rispetto agli altri algoritmi. Una variante di Depth-First è la ricerca Iterative Deepening, in cui vengono utilizzate una serie di ricerche Depth-First a differenti profondità.

Gli algoritmi **Breadth-First** esplorano il grafo provando tutte le possibili alternative. A ogni step di profondità, tutte le possibili combinazioni vengono verificate prima di passare allo step successivo.

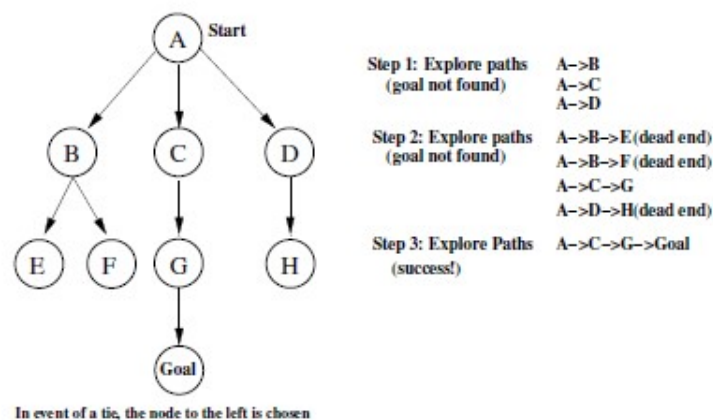


Figura 4 – Esempio di algoritmo Breadth-First

Questi algoritmi trovano sempre la soluzione ottima al primo tentativo e sono adatti a problemi con un numero limitato di step. Una variante di Breadth-First è la ricerca Uniform-Cost, in cui gli step non sono definiti dalla profondità, ma dal costo di attraversamento.

Gli algoritmi basati sull'**Euristica** sono adatti nei casi in cui la mappa ottenuta è molto grande e contiene alcune componenti inesplorate. In questi casi, avere informazioni aggiuntive come la distanza dalla destinazione potrebbe far risparmiare molto tempo alla ricerca. Gli algoritmi euristici fanno ipotesi su quali percorsi potrebbero farci muovere più vicino alla destinazione. Successivamente utilizzano una funzione di valutazione per valutare ogni nodo o stato nel percorso con una stima di prossimità alla destinazione. Un esempio di algoritmi euristici sono Best-First e A*.

Gli algoritmi basati su **Replanning** sono costruiti sull'assunzione che non tutto lo spazio è conosciuto a priori. Questo tipo di pianificazione tratta le zone sconosciute come zone completamente traversabili finché non viene scoperto il contrario. Ciò vuol dire che questi algoritmi si adattano e sono in grado di cambiare il percorso in base a sensori di rilevamento locale. Inizialmente viene costruita una mappa globale con le informazioni a disposizione. Successivamente ci si appoggia a Local Navigator per la obstacle avoidance. Se il percorso diventa completamente bloccato, allora è necessaria una nuova pianificazione.

4. Controllo del movimento del veicolo

Tutte le informazioni raccolte dall'ambiente e le decisioni prese legate agli obiettivi da raggiungere contribuiscono alla logica del movimento del veicolo. Questo modulo si occupa della gestione degli attuatori al fine di controllare il movimento fisico del veicolo stesso.

Il controllo del movimento è suddiviso in due categorie:

- Controllo Longitudinale: si occupa del controllo di velocità.
- Controllo Laterale: mantiene la posizione del veicolo rispetto a una corsia.

Inoltre la dinamica del veicolo fa sì che questi controlli dipendano l'uno dall'altro.

4.1. Controllo del movimento laterale

L'obiettivo di sistemi per la gestione dei trasporti è quello sfruttare al meglio le autostrade e semplificare le operazioni manuali in base alle condizioni stradali.

In questo contesto, sistemi di Lane Following sono in grado di fornire comandi di guida sicuri ed efficienti. Detto ciò, questi sistemi hanno due compiti:

- Innanzitutto devono calcolare il raggio di curvatura della strada e la posizione del veicolo rispetto alla strada stessa.
- Successivamente, il controller dello spostamento laterale si occupa di attuare la sterzata del veicolo tenendo traccia del centro della corsia e di altri fattori quali velocità, carico a bordo e condizioni stradali.

Il tracciamento della corsia genera un percorso di riferimento da seguire. La differenza fra questo percorso e il percorso realmente seguito rappresenta l'errore che deve essere minimizzato. Minimizzare l'errore può comportare una perdita di comfort e stabilità.

In genere, i controller dello spostamento laterale combinano l'utilizzo di tecniche feedback e feed-forward rispettivamente per incrementare le performance e per generare delle previsioni sui comandi da eseguire quando informazioni sulla curvatura della strada sono disponibili.

4.2. Controllo del movimento longitudinale

Il controllo longitudinale va incontro al bisogno di ridurre gli incidenti andando a monitorare la propria posizione rispetto a veicoli e ostacoli che ci precedono. Si interviene direttamente su accelerazione e frenata del veicolo.

L'obiettivo è quello di mantenere una distanza di sicurezza fra il veicolo e quello che lo precede, conservando una velocità relativamente costante con il minimo utilizzo del freno. Allo stesso il controllore deve attivare i freni il prima possibile in una situazione di emergenza.

Il cruise control è un esempio di sistema che controlla esclusivamente la velocità di un veicolo. In caso di una discesa, l'utente stesso deve attivare i freni per ridurre la velocità. Varianti del cruise control, quali Intelligent (ICC) o Adaptive (ACC) cruise controllers sfruttano dei radar per determinare e mantenere una distanza di sicurezza dagli altri veicoli in base a velocità e condizioni del veicolo. Questi controlli devono anche garantire una guida morbida ed efficiente, decidendo in maniera ottimale le tempistiche di attivazione di acceleratore e freni.

In questo contesto, esistono applicazioni che comprendono la cooperazione dei veicoli, gestendo un insieme di veicoli come se fossero una formazione, nella quale regole legate alla distanza fra veicoli devono essere rispettate.

5. Conclusioni

In questo documento è stata presentata una panoramica dello stato dell'arte legato a Autonomous Intelligent Vehicle. L'argomento è stato suddiviso in più livelli, ogni dei quali è stato analizzato e discusso, ponendo alla luce le problematiche da affrontare. Inoltre vengono presentate alcune linee guida per affrontare i suddetti problemi, senza ricadere nei dettagli implementativi.

Inizialmente si è parlato di Environment perception and Navigation, l'importanza di percepire ed interpretare le entità presenti nelle vicinanze e comprendere le tipologie di strada che si percorrono. Vengono considerati l'utilizzo di sensoristica attiva e passiva, descrivendo approcci utilizzabili a seconda del tipo di percezione (veicoli, ostacoli, carreggiate, ecc.).

Successivamente viene affrontato il problema della localizzazione geografica del veicolo. Si parla delle tecnologie disponibili per un rilevamento accurato della propria posizione e della definizione di mappe globali e locali.

Legato al discorso delle mappe, viene proposta una panoramica legata al Path Planning. Vengono descritti diversi approcci alla rappresentazione dello spazio e diversi algoritmi per la ricerca del percorso ottimale.

Infine si parla dell'aspetto più low-level, ovvero del controllo fisico del movimento del veicolo. In particolare, il problema viene analizzato da due punti di vista, ovvero il controllo longitudinale e laterale del movimento.

Riferimenti

1. Hong Cheng: Autonomous Intelligent Vehicles (2011)
2. Yue Wang, Eam Khwang Teoh, Dinggang Shen: Lane detection and tracking using B-Snake (2003)
3. Anna Petrovskana, Sebastian Thrun: Model Based Vehicle Detection and Tracking for Autonomous Urban Driving (2009)
4. Youjing Cui, Shuzhi Ge: Autonomous Vehicle Positioning With GPS in Urban Canyon Environments (2003)
5. Hong Cheng, Zicheng Liu, Namming Zheng, Jei Yang: Enhancing a Driver's Situation Awareness Using a Global View Map (2007)
6. In-Car Positioning and Navigation Technologies – A Survey (2009)
7. Emilio Frazzoli, Munther A. Dahleh, Eric Feron: Real-Time Motion Planning for Agile Autonomous Vehicles (2002)
8. J. Giesbrecht: Global Path Planning for Unmanned Ground Vehicles (2004)
9. Alizera Khodayari, Ali Ghaffari, Sina Ameli, Jamal Flahatgar: A Historical Review on Lateral and Longitudinal Control of Autonomous Vehicle Motions (2010)
10. Steven A., Nobe, Fei-Yue Wang: An Overview of Recent Developements in Automated Lateral and Longitudinal Vehicle Controls (2001)