
Méthodes de mesures de la circulation

Hamzeh Alizadeh, Ph.D.

Directeur – Recherches et valorisation des données
ARTM

Introduction

- Les opérations sécuritaires et efficaces des systèmes de transport reposent fortement sur les applications des technologies de pointe.
- Au cours de la dernière décennie, la technologie des capteurs/détecteurs est devenue omniprésente et a attiré beaucoup d'attention.
- Des capteurs ont été déployés dans de nombreux domaines tels que les soins de santé, l'agriculture, la gestion des forêts et la surveillance des flux de véhicules.
- Vastes applications:
 - Les technologies de communication,
 - La détection et surveillance de la circulation,
 - La détection des incidents,
 - L'interventions d'urgence,
 - La gestion de flotte
 - L'assistance à la conduite.
- Cette section décrit quelques types de capteurs de la circulation souvent utilisés dans les STI et autres systèmes de surveillance et de collecte de données.

Introduction

- Le développement de systèmes de transport intelligents a eu une grande influence sur de nombreux aspects des systèmes de transport routier.
- La technologie de mesure de la circulation réalisée à l'aide de divers types d'appareils de détection a influencé l'analyse de la circulation.
- La collecte d'informations sur les véhicules, y compris le débit de la circulation, la présence, la vitesse et l'emplacement des véhicules, est la condition la plus fondamentale pour un système de transport intelligent (STI).

Il est essentiel de maximiser l'efficacité et la capacité des réseaux de transport existants en raison de l'augmentation continue du volume de trafic et de la construction limitée de nouvelles installations routières dans les zones urbaines, interurbaines et rurales.

Introduction

- L'augmentation de la demande, par rapport à la construction limitée de nouvelles routes, a provoqué le phénomène de la congestion récurrente dans le monde industrialisé, ainsi que dans les pays en développement.
- Une alternative à la construction coûteuse de nouvelles routes est la mise en œuvre de stratégies qui favorisent une utilisation plus efficace des installations actuelles de transport routier, ferroviaire, aérien et maritime.
- Ces stratégies se retrouvent dans les programmes routiers et de transport en commun des systèmes de transport intelligents (STI) qui ont parmi leurs objectifs de réduire le temps de trajet, d'atténuer les retards et la congestion, d'améliorer la sécurité et de réduire les émissions de polluants.
- STI contient des technologies de surveillance électronique, de communications, d'analyse et de contrôle de la circulation.
- Les STI apportent des avantages aux utilisateurs et aux gestionnaires du réseau de transport.
 - Les utilisateurs bénéficient des informations et des conseils fournis par STI.
 - Les gestionnaires et les agences de transport bénéficient d'une capacité améliorée de surveillance, d'acheminement et de contrôle des flux de trafic et de diffusion d'informations.

Introduction

- Des millions de dollars de recherche et d'exploitation sont prévus au budget pour gérer la circulation et réduire la congestion et les retards sur les rues et les autoroutes existantes d'un pays.
- Applications des STI:
 - Systèmes avancés de gestion de la circulation,
 - Systèmes avancés d'information aux voyageurs,
 - Opérations de véhicules commerciaux,
 - Systèmes de gestion avancés de véhicule,
 - Systèmes avancés de transports en commun, etc.
- Les STI s'appuient sur des capteurs pour fournir la détection des véhicules, la détection des incidents, la surveillance automatique des voyageurs, le contrôle adaptatif des feux de circulation en temps réel, les données historiques et les données pour les services d'information des voyageurs, les services commerciaux et les services d'urgences.

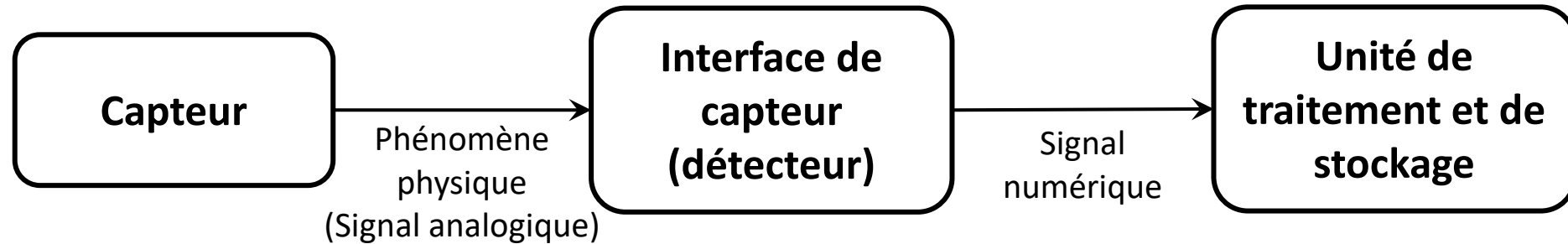
Le succès des STI dépend dans une large mesure de la conception, de l'installation et de la maintenance appropriées des capteurs.

Que mesurer?

- La collecte d'une grande quantité de différents types de données de bonne qualité améliore notre compréhension des phénomènes complexes de la circulation et de transport et fournit une bonne base pour prendre des décisions en cas d'incertitude.
- De nos jours, des avancées technologiques telles que
 - augmentation de la puissance de calcul,
 - réduction des besoins énergétiques des appareils électroniques, en particulier des ordinateurs,
 - les réseaux informatiques et le stockage distribués sur le «cloud»,
 - omniprésence des ordinateurs, tablettes, téléphones intelligents, etc. pour la collecte et la diffusion d'informations,
 - croissance de capteurs bon marché connectés à Internet («Internet des objets»).

ont simplifié les processus de collecte de données et ont rendu les données de la circulation et les transports plus accessibles.

Systeme général de collecte de données



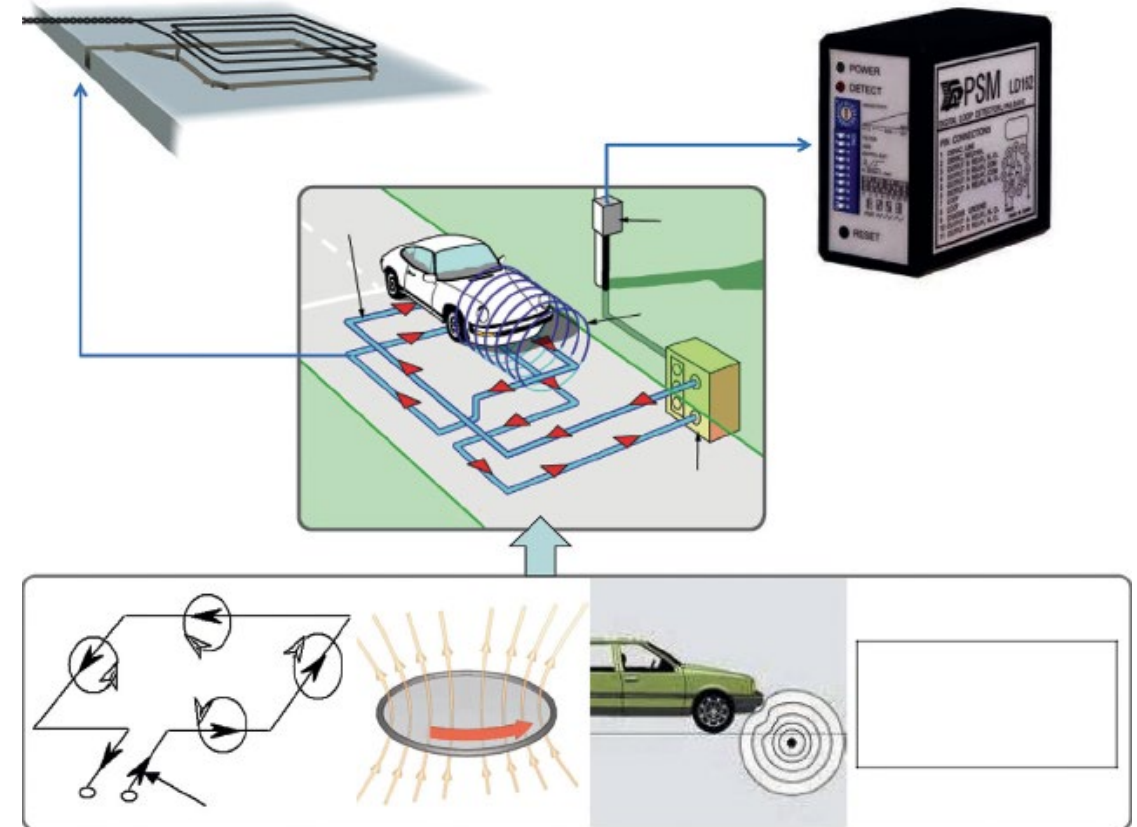
- Capteur: transforme un phénomène physique en une quantité utilisable (signal analogique), telle qu'une tension électrique ou une hauteur de mercure.
- Interface de capteur (détecteur): transforme le signal analogique en signal numérique (0/1)
- Unité de traitement et de stockage (base de données) ou affichage

Objectifs de la collecte de données

- Comprendre la demande de transport et son évolution;
- Améliorer l'efficacité des systèmes de transports;
- Études avant-après;
- Fournir des informations aux utilisateurs;
- Évaluer les impacts potentiels: pollution (émission, bruit), accidents, etc.;
- Détecter la présence d'utilisateurs pour prendre des mesures, par exemple pour les stratégies de contrôle adaptatif des feux de signalisation, la gestion des accès, l'accès aux stationnements, etc.;
- Détecter les incidents.

Détecteur à boucle inductive

- Depuis son introduction au début des années 1960, le détecteur à boucle inductive est devenu le capteur le plus utilisé dans les systèmes de gestion de la circulation.
- Il consiste principalement en une bobine de fil enfoncée dans la chaussée.
- Le détecteur entraîne un courant alternatif à travers la boucle, ce qui produit un champ magnétique.
- Le détecteur détecte la présence d'un objet métallique conducteur en induisant des courants dans l'objet, ce qui réduit l'inductance de la boucle et modifie la fréquence.



Un système de détection à boucle inductive

Détecteur à boucle inductive

Applications

Contrôleurs de signal activés par la présence de véhicule: Ces feux adaptatifs reposent sur les résultats du détecteur pour décider si une indication verte est accordée à l'approche surveillée par le détecteur.

Détecteurs de franchissement de feux rouge: Le détecteur d'une telle intersection est connecté au contrôleur de signal et à une caméra. En conséquence, lorsqu'un véhicule franchit un feu rouge, la caméra se déclenchera et une photo du véhicule sera prise comme preuve de violation du feu rouge.

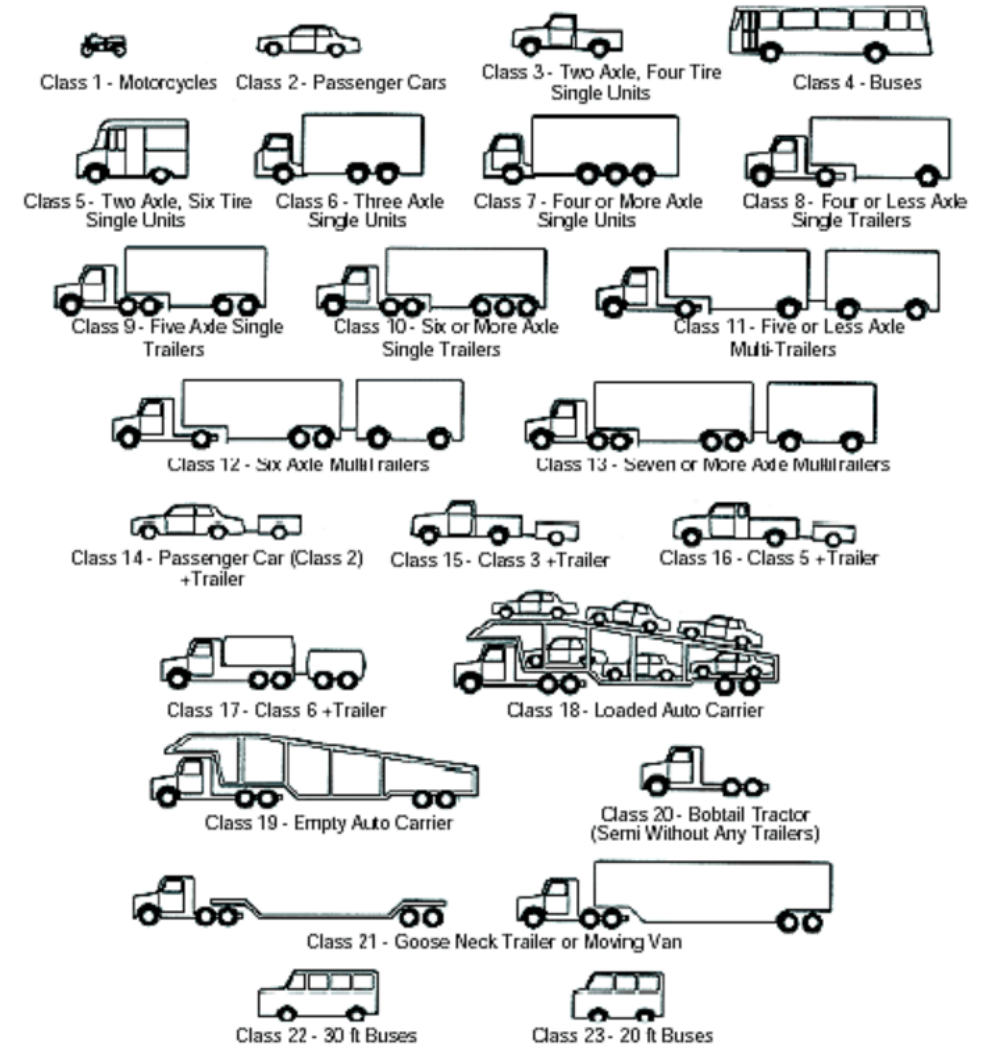
La régulation d'accès aux stationnements et sur les bretelles: Lorsqu'un véhicule sort d'un stationnement, une boucle inductive peut détecter le véhicule à l'avance de sorte que la porte s'ouvre automatiquement pour le véhicule. Ils sont également utilisés sur des bretelles pour la gestion des entrées des véhicules aux autoroutes.

Programmes de comptage du trafic: Les détecteurs de boucle inductifs sont souvent utilisés pour compter les véhicules sur les réseaux autoroutiers.

Détecteur à boucle inductive

Données collectées

- Données horodatées de comptages ;
- Classification des véhicules: l'utilisation des méthodes avancées de classement pour classer le flux de la circulation en 23 catégories ;
- Vitesse instantanée du véhicule ;
- Temps inter véhiculaire: Séparation temporelle entre deux véhicules consécutifs ;
- Temps actif: temps pendant lequel le détecteur émet un état « actif ».



Classes disponibles pour les données collectées à partir des capteurs à boucle inductive

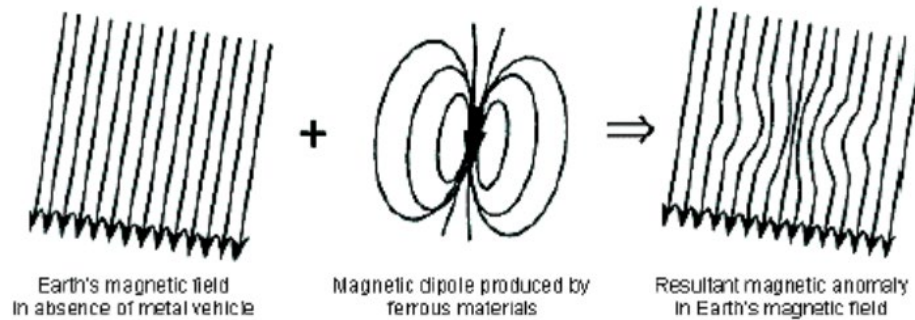
Détecteur à boucle inductive

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Peut surveiller la circulation sur une base régulière (c.-à-d. toute la journée et toute l'année).➤ Conception flexible pour satisfaire une grande variété d'applications.➤ Technologie mature et bien comprise.➤ Grande base d'expérience.➤ Fournit des paramètres de trafic de base (par exemple, volume, présence, occupation, vitesse, etc.).➤ Insensible aux intempéries telles que la pluie, le brouillard, la neige et les conditions d'éclairage.➤ Fournit la meilleure précision pour les données de comptage par rapport aux autres techniques couramment utilisées.➤ Norme commune pour obtenir des mesures précises d'occupation.➤ Peut fournir des données de classification.	<ul style="list-style-type: none">➤ L'installation et l'entretien sont intrusifs pour la circulation et nécessitent la fermeture de voies.➤ L'installation nécessite de couper le revêtement existant.➤ Une mauvaise installation diminue la durée de vie de la chaussée.➤ Les boucles sont soumises à des tensions et forces causées par la circulation et la température et tombent souvent en panne suite aux dommages induits.➤ Les coûts d'installation et de maintenance sont élevés.➤ Plusieurs boucles sont généralement nécessaires pour surveiller un endroit.➤ La précision de détection peut diminuer lorsque la détection d'une grande variété de classes de véhicules est requise.

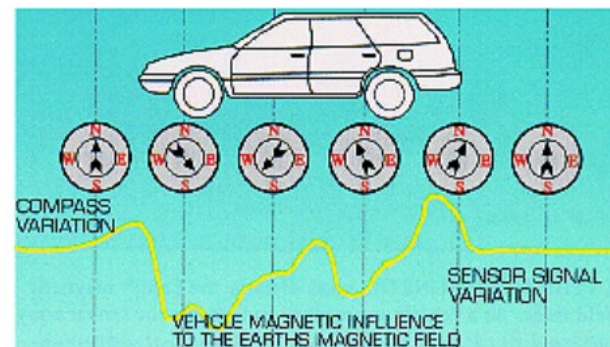
Magnétomètre

- Les capteurs magnétiques sont des dispositifs qui détectent la présence d'un objet en métaux ferreux grâce à la perturbation qu'ils provoquent dans le champ magnétique de la terre.

Une anomalie magnétique induite par un véhicule en métaux ferreux



(a) Magnetic anomaly induced in the Earth's magnetic field by a magnetic dipole.



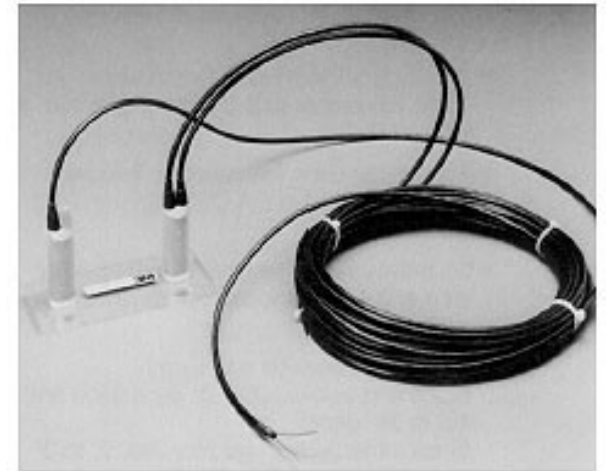
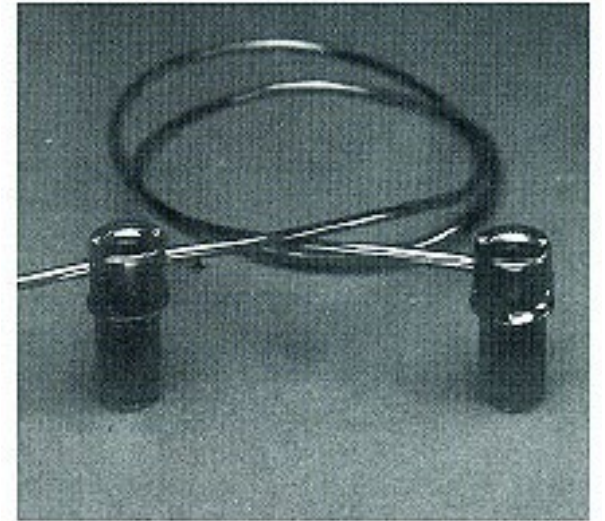
(b) Perturbation of Earth's magnetic field by a ferrous metal vehicle
(Source: Nu-Metrics, Vanderbilt, PA).



Magnétomètre pour la détection de véhicule

Magnétomètre

- Une autre forme de détecteurs magnétiques est appelée microboucle.
- Il a été principalement conçu pour être utilisé pour la détection de véhicules où les conditions existantes empêchent l'installation d'un détecteur à boucle inductive.
- La microboucle détecte un changement d'inductance dans la composante verticale du champ magnétique terrestre causé par la présence ou le passage d'un véhicule.
- Souvent, au moins deux microboucles sont connectées en série pour détecter les tailles de véhicules et obtenir la couverture requise de la voie.



Détecteurs microboucle

Magnétomètre

Données collectées

- Données horodatées de comptages ;
- Présence de véhicule.
- Ils peuvent fournir des données sur l'occupation et la vitesse (basé sur la taille de la zone de détection et une longueur supposée du véhicule).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Moins sensible que les boucles aux tensions et forces causées par la circulation .➤ Insensible aux intempéries telles que la neige, la pluie et le brouillard.➤ Certains modèles transmettent des données via une liaison radiofréquence (RF) sans fil.	<ul style="list-style-type: none">➤ L'installation nécessite de couper le revêtement existant.➤ Une mauvaise installation diminue la durée de vie de la chaussée.➤ L'installation et l'entretien nécessitent la fermeture de voies.➤ Les modèles avec de petites zones de détection nécessitent plusieurs unités pour une détection complète de la voie.

Tubes pneumatiques

- Les tubes pneumatiques sont des dispositifs portables de collecte de données sur la circulation et sont idéals pour les études à court terme.
- Un tube en caoutchouc d'un diamètre d'environ 1 cm est placé sur la surface d'une route. Lorsqu'un véhicule passe, la roue appuie sur le tube et l'air à l'intérieur du tube est repoussé. Une extrémité du tube est connectée à une boîte qui contient une membrane et un interrupteur électrique. La pression d'air déplace la membrane et engage l'interrupteur.
- Cette impulsion d'air est détectée par l'unité et est enregistrée ou traitée pour créer des données de volume, de vitesse ou de classification d'essieu.
- Un tube pneumatique est normalement utilisé pour collecter le volume, et deux tubes pneumatiques peuvent être utilisés pour collecter des données de vitesse et de classe de véhicule.



Tubes pneumatiques

Tubes pneumatiques

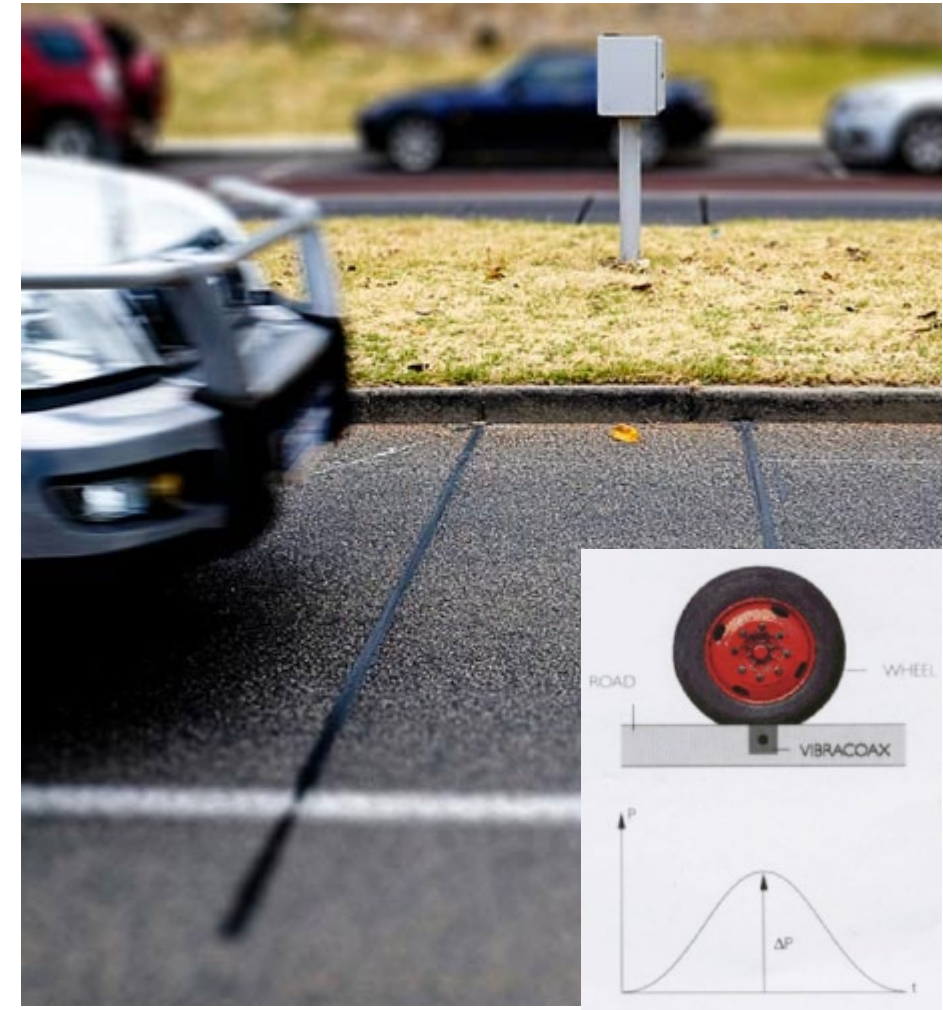
Données collectées

- Comptages horodatés d'essieux, à partir desquels la classification du véhicule, la direction du flux, les comptages du trafic, le débit, la vitesse instantanée du véhicule, le temps inter véhiculaire et le temps d'occupation peuvent être déduits.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Adapté pour la collecte temporaire de données➤ Installation facile➤ Adapté pour un volume de trafic faible à moyen➤ Largement utilisé et peu coûteux➤ Technique très connue	<ul style="list-style-type: none">➤ Couverture de voie limitée➤ Pas adapté pour une utilisation régulière➤ Ils sont soumis à des tensions et forces causées par la circulation et la température et tombent souvent en panne suite aux dommages induits.➤ Le système peut être endommagé par l'entretien de la chaussée, les balayeuses de voirie et les chasse-neige.➤ Peut être intrusif pour la circulation et les propriétés à proximité.

Capteurs piézo-électriques

- Les capteurs piézoélectriques collectent des données en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Lorsqu'il est utilisé pour compter les véhicules, le capteur est monté dans une rainure creusée dans la surface de la route.
- Une tension est générée quand le câble coaxial, enfoui dans la chaussée, subit la contrainte mécanique causée par le passage d'un véhicule.
- Ce changement de tension peut être utilisé pour détecter et compter les véhicules.



Capteurs piézo-électriques

Capteurs piézo-électriques

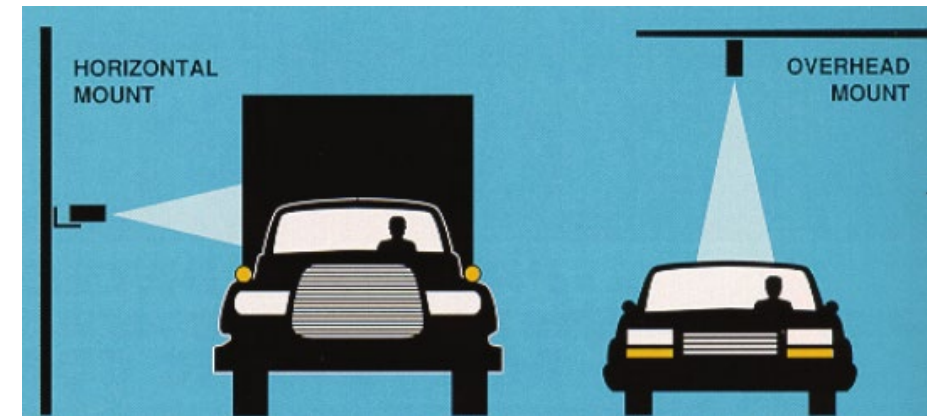
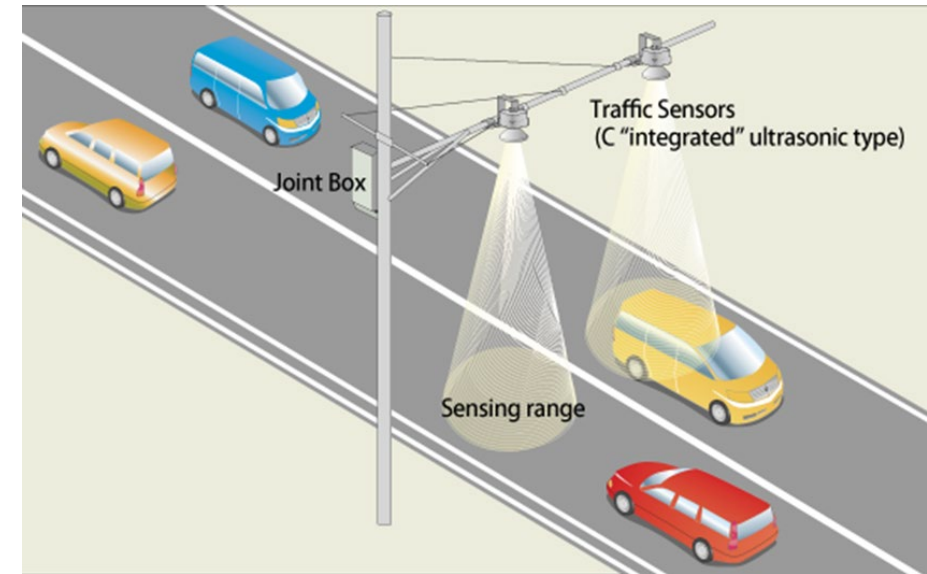
Données collectées

- Très précis pour mesurer les chocs sur les essieux.
- Ils sont utilisés pour le comptage, la classification (vitesse et essieu), le pesage automatique des véhicules en mouvement, les systèmes de péage et même les installations pour faire respecter un règlement telles que la vitesse maximale et le feu rouge.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Peut être utilisé pour le pesage automatique des véhicules en mouvement.➤ Très précis pour compter le nombre de coups d'essieux.	<ul style="list-style-type: none">➤ L'installation et l'entretien sont intrusifs pour la circulation et nécessitent la fermeture de voies.➤ L'installation nécessite de couper le revêtement existant.➤ Une mauvaise installation diminue la durée de vie de la chaussée.➤ Soumis à des tensions et forces causées par la circulation et la température et peuvent tomber en panne suite aux dommages induits.➤ Nécessite une calibration pour de meilleures performances.➤ La température peut influencer la sensibilité des capteurs

Capteur à ultrasons

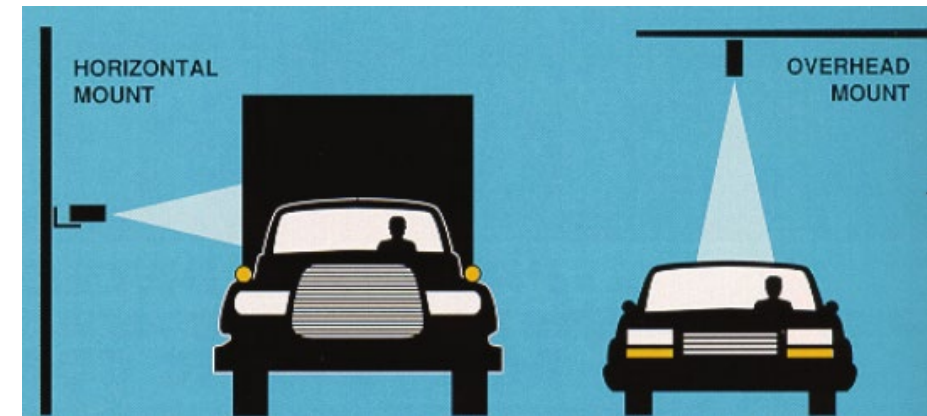
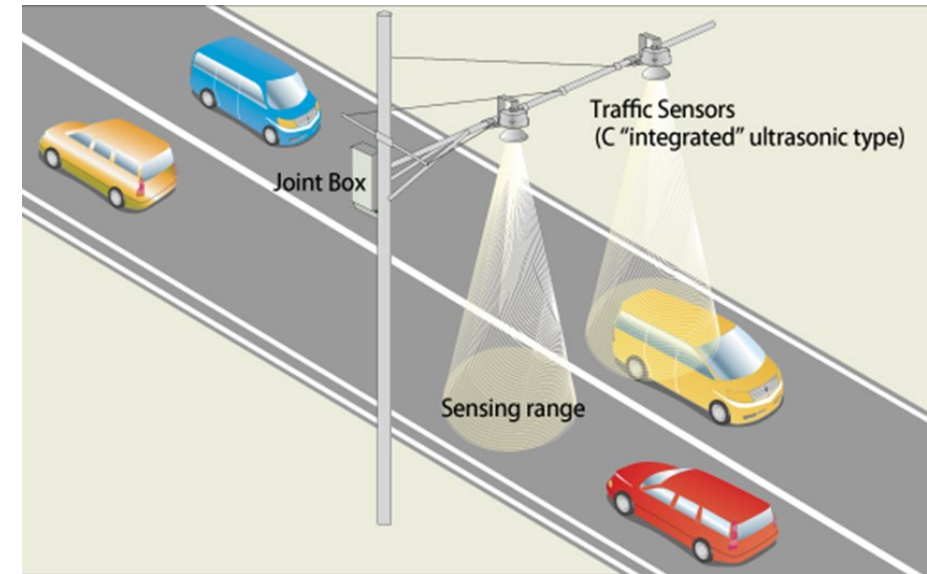
- «Ultrasonique» fait référence aux ondes sonores à haute fréquence qui sont au-delà de la portée audible d'un humain.
- Les ondes avec des fréquences comprises entre 25 et 50 kHz sont couramment utilisées.
- Le capteur émet un faisceau sonore, comme un radar, qui se déplace jusqu'à ce qu'il atteigne un objet.
- L'onde sonore rebondit alors et retourne au capteur.
- Le capteur mesure ensuite le temps nécessaire à l'onde sonore pour atteindre l'objet et rebondir.
- Connaissant la vitesse du son, le capteur calcul la distance entre le capteur et l'objet.
- Typiquement, un capteur à ultrasons transmet une impulsion sonore depuis le dessus de la route et mesure les impulsions réfléchies depuis le véhicule ou le sol.
- Les performances des capteurs à ultrasons sont bien meilleures que celles des autres types d'appareils à impulsions.



Capteur à ultrasons

Capteur à ultrasons

- Une fois que la distance par défaut du détecteur au sol est définie, si un véhicule passe dans la plage de détection du capteur à ultrasons, la valeur de distance change en fonction de la taille du véhicule et le système de détection détecte la présence du véhicule en fonction de la distance.
- La plupart des capteurs à ultrasons détectent les véhicules en mesurant de haut en bas ou d'un côté à l'autre.
- Cependant, ces approches nécessitent qu'un détecteur soit installé pour chaque voie car chaque détecteur ne mesure qu'une seule voie sur une route.
- De plus, les capteurs à ultrasons nécessitent une infrastructure considérable sur une route.
- La précision de détection de véhicule obtenue en utilisant cette méthode est d'environ 99,5% pour chaque capteur à ultrasons installé sur chaque voie.



Capteur à ultrasons

Capteur à ultrasons

Données collectées

- Le capteur recueille le temps de déplacement des ondes sonores, puis le convertit en distance.
- Comptage horodaté de véhicules, présence de véhicule, occupation

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Abordable et peu coûteux.➤ Implique un matériel et une technologie relativement simples.➤ Fonctionnement sur plusieurs voies disponible.➤ Capable de détecter les véhicules en mesurant de haut en bas.➤ Grande base d'expérience japonaise.	<ul style="list-style-type: none">➤ Les conditions environnementales telles que les changements de température et les turbulences extrêmes de l'air peuvent affecter les performances. Une fonction de compensation de température est intégrée à certains modèles.➤ la fréquence d'impulsion peut affecter la qualité de la mesure de l'occupation sur les autoroutes avec une circulation à vitesse modérée à élevée.➤ La précision dépend de la surface des objets. Les ondes sonores peuvent rebondir différemment sur diverses surfaces, ce qui affecte les lectures sur le capteur.

Capteur acoustique passif

- Les capteurs acoustiques mesurent le passage, la présence et la vitesse du véhicule en détectant l'énergie acoustique ou les sons audibles produits à l'intérieur de chaque véhicule, ainsi qu'à partir de l'interaction des pneus du véhicule avec la route (les bruits de roulement et de moteur).
- Lorsqu'un véhicule traverse la zone de détection, une augmentation de l'énergie sonore est reconnue par l'algorithme de traitement du signal et un signal de présence du véhicule est généré.
- Lorsque le véhicule quitte la zone de détection, le niveau d'énergie sonore tombe en dessous du seuil de détection et le signal de présence du véhicule est interrompu.
- Les sons provenant de l'extérieur de la zone de détection sont atténués.
- Il existe des modèles de capteurs acoustiques à voie unique et à voies multiples.



Capteur acoustique passif

Capteur acoustique passif

- Le système est construit à partir d'un ensemble de capteurs sonores.
- La différence temporelle d'arrivée du son entre les différents capteurs est traduite en vitesse du véhicule.
- Il est recommandé pour les applications de collecte de données sur les ponts et autres routes où des capteurs non intrusifs sont nécessaires.
- Préférable à utiliser pour la circulation fluide car la congestion produit trop de nuisances sonores et empêche une détection précise des véhicules.
- Le capteur n'est pas recommandé là où un mélange de trafic stop-and-go et de circulation fluide se produit, comme sur une autoroute avec un potentiel de congestion, car l'algorithme de détection de véhicule ne peut pas basculer entre ces deux conditions de débit assez rapidement pour détecter le changement de l'état de la circulation.



Capteur acoustique passif

Capteur acoustique passif

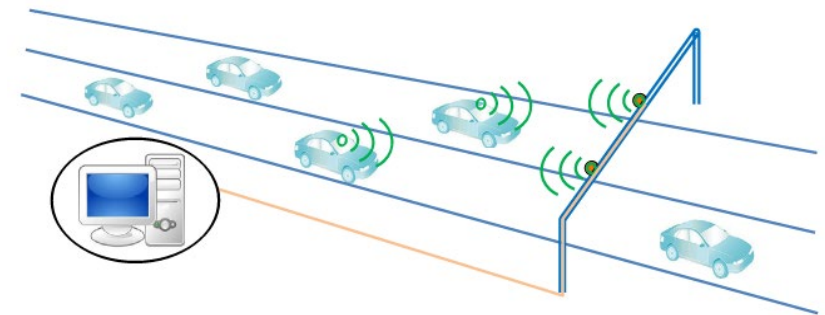
Données collectées

- Volume (débit), occupation des voies, vitesse du véhicule et vitesse moyenne pour chaque voie surveillée
- Comptage horodaté de véhicules, présence de véhicule, occupation

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Détection passive.➤ Insensible aux précipitations.➤ Fonctionnement à plusieurs voies disponible sur certains modèles.	<ul style="list-style-type: none">➤ Les températures froides peuvent affecter la précision du comptage des véhicules.➤ Changement de condition de circulation (congestionné ↔ circulation fluide) affecte grandement la précision des résultats.

Identification par fréquence radio

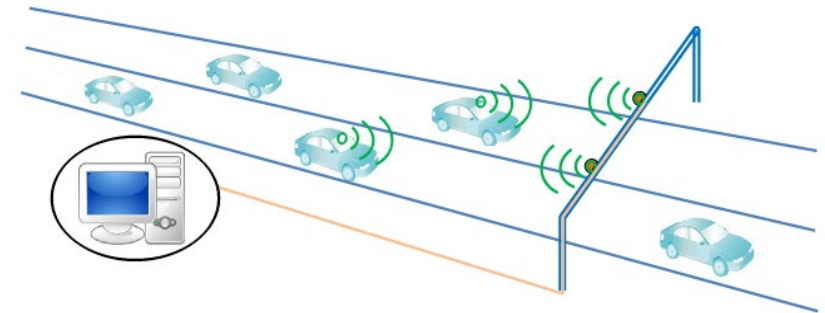
- L'identification par radiofréquence (RFID) est la technologie de base de nombreux capteurs appelés transpondeurs (par exemple, les étiquettes E-ZPass) et est utilisée pour l'identification automatique des véhicules.
- Il utilise des ondes radio pour échanger de l'information entre un lecteur et une étiquette électronique attachée à un objet à des fins d'identification et de suivi.
- Lorsqu'un véhicule arrive à la cabine de péage, le lecteur d'étiquettes détecte le transpondeur et enregistre son identifiant unique, le temps de passage et d'autres informations liées au compte telles que le solde et le montant payé.
- Le système consiste en (1) un transpondeur sur le véhicule, (2) un lecteur d'étiquette par voie de péage, (3) une antenne et (4) un système informatique central.



Système de péage électronique

Identification par fréquence radio

- Dans la plupart des applications, la puce est utilisée pour stocker des informations sur l'objet, le produit ou l'expédition que l'entreprise doit suivre.
- La RFID est similaire au code à barres, car ils utilisent tous les deux des étiquettes et des scanners pour lire les étiquettes et un logiciel back-end pour stocker les données, mais le système RFID ne nécessite pas une ligne de vue claire et plusieurs lectures parallèles sont possibles.



Système de péage électronique

Identification par fréquence radio

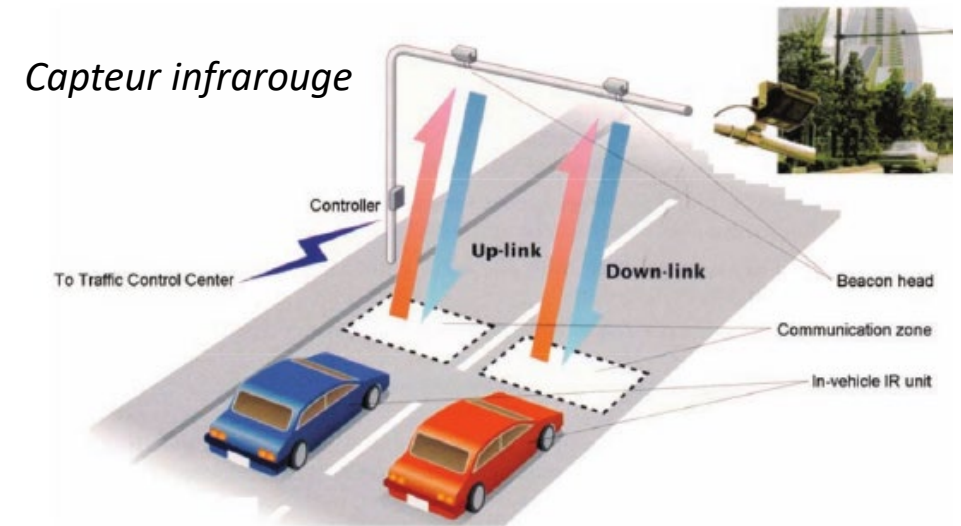
Données collectées

- La technologie RFID est capable d'enregistrer les identifiants des véhicules équipés et d'horodater l'arrivée de ces véhicules.
- D'autres applications deviennent disponibles si le lecteur lit les données stockées dans les étiquettes. Différents types d'informations relatives au véhicule, telles que le type de véhicule, la taille du moteur, le type de carburant, le poids à vide, les émissions totales, les marchandises spéciales / dangereuses, etc. peuvent être inscrits dans les étiquettes.
- En utilisant ces données, des statistiques plus précises peuvent être obtenues sur la circulation, par ex. en enregistrant les catégories de véhicules, la classification des véhicules peut être résolue.
- Sur la base d'une méthode similaire, les véhicules d'urgence peuvent être détectés sur un segment de route et une alerte peut être générée pour les véhicules dans le quartier.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ La technologie RFID est peu coûteuse.➤ Il n'interrompt pas la circulation.	<ul style="list-style-type: none">➤ La RFID détecte uniquement les véhicules équipés.➤ Les métaux et les liquides bloquent les ondes radio.

Capteur infrarouge

- Passif : Détecte la chaleur émise
- Actif : Consiste d'un émetteur (LED) et d'un récepteur



Avantages

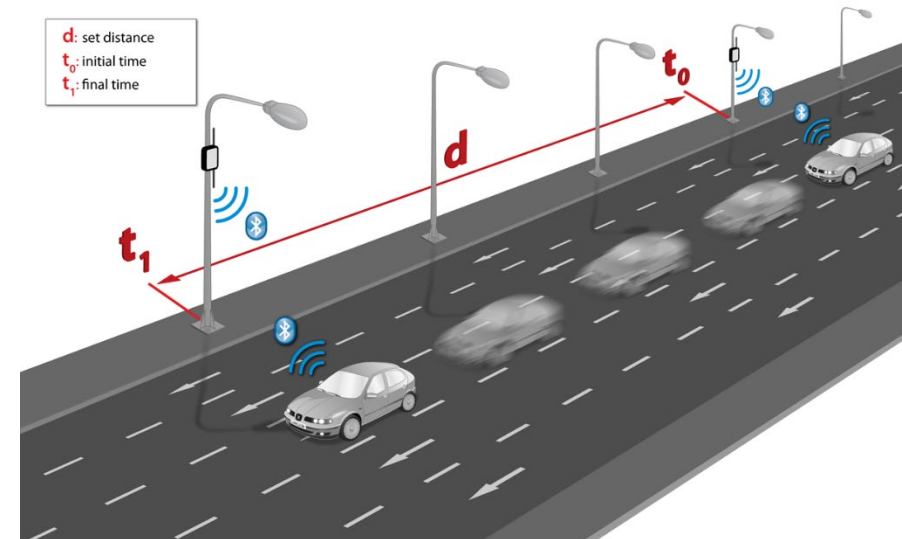
- Émet plusieurs rayons pour une mesure précise de la position, la vitesse et la classe des véhicules.
- Possibilité de fonctionnement sur plusieurs voies.
- Applications spécifiques pour la détection de présence dans les parcs de stationnement, pour le comptage des piétons, etc.

Inconvénients

- La performance peut être affectée par le brouillard lorsque la visibilité est inférieure à 6 m ou qu'il y a de la poudrerie.
- L'installation et la maintenance, y compris les nettoyages réguliers des lentilles, requiert la fermeture de la voie.
- Les capteurs passifs peuvent avoir une sensibilité réduite en cas de pluie, neige ou grand brouillard.

Capteur Bluetooth

- Bluetooth est une technologie sans fil qui permet aux appareils électroniques de communiquer directement entre eux sur des distances relativement courtes en utilisant la communication par radiofréquence.
- Le potentiel du Bluetooth dans la surveillance de la circulation a commencé à apparaître dans la littérature académique vers 2010.
- Évolution très rapide au cours des 10 dernières années et continuera sans aucun doute à évoluer rapidement.



Capteur Bluetooth

Capteur Bluetooth

- Les systèmes de détection Bluetooth fonctionnent en recherchant activement les appareils Bluetooth accessibles et en capturant l'adresse MAC (Media Access Control Adresse) unique de chaque appareil.
- Pour qu'un système de détection Bluetooth puisse lire l'adresse MAC d'un appareil, celui-ci doit être allumé et être en mode «détectable».
- Étant donné que chaque appareil a une adresse MAC unique et permanente (?), les systèmes de détection Bluetooth peuvent déterminer les temps et les vitesses de déplacement des véhicules en calculant le temps nécessaire aux véhicules contenant des appareils Bluetooth pour se déplacer entre deux capteurs Bluetooth séparés d'une distance connue.
- Bluetooth peut être utilisé pour mesurer les temps de parcours des véhicules équipés d'appareils Bluetooth. Cela ne peut être qu'une petite fraction de tous les véhicules empruntant une route particulière. Par conséquent, il est important de comprendre le pourcentage de véhicules à partir duquel des données peuvent être collectées à l'aide de cette méthode (le taux de pénétration).



Capteur Bluetooth

Capteur Bluetooth

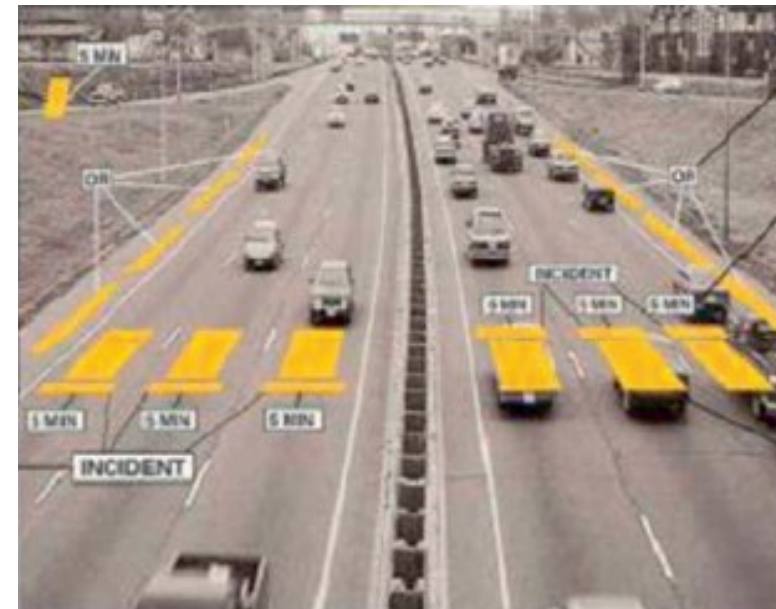
Données collectées

- Le volume (débit),
- Études de prévision des temps de parcours,
- Données origine-destination pour les études de choix d'itinéraire.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Moins cher que de nombreuses autres options.➤ La collecte de données Bluetooth permet la flexibilité d'une utilisation unique ou de la collecte continue de données à un coût inférieur à celui des enregistrements vidéo des plaques d'immatriculation.	<ul style="list-style-type: none">➤ Problèmes potentiels de confidentialité➤ La qualité des données et de la détection repose sur l'utilisation de périphériques Bluetooth par les conducteurs.

Systeme de traitement de video

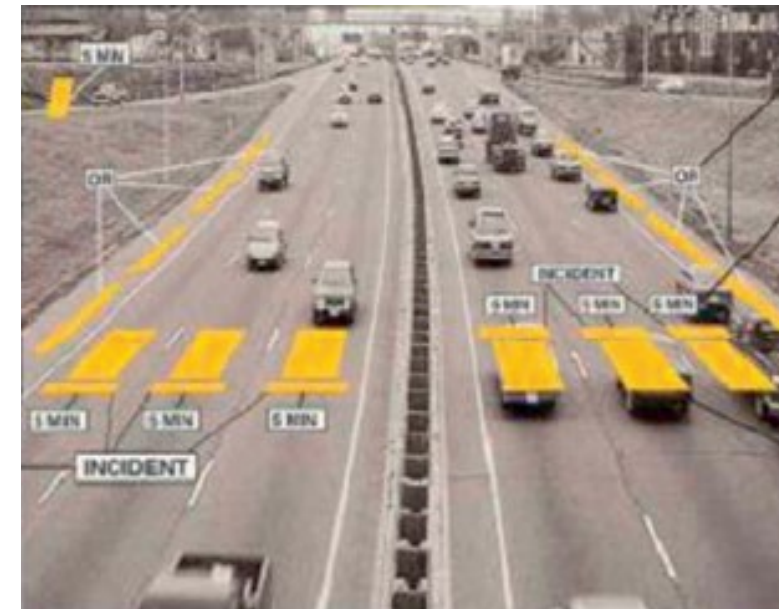
- Les caméras vidéo ont été introduites à la gestion de la circulation pour la surveillance des routes grâce à leur capacité à transmettre des images vidéo à un opérateur humain pour interprétation et surveillance de la circulation.
- Les gestionnaires de la circulation utilisent le traitement de vidéo pour analyser automatiquement les vidéos collectés et extraire des informations pour la surveillance et la gestion de la circulation.
- Le système de traitement de vidéo comprend:
 - Un système de capture d'image
par exemple une caméra vidéo montée au-dessus de la route qui capture des vidéos de la circulation sous surveillance en temps réel.
 - Un système de télécommunication
par exemple un modem et une ligne téléphonique qui transmettent les vidéos au système de traitement d'images.
 - Un système de traitement d'image
Un système qui traite les vidéos pour extraire les données de la circulation.



Systeme de traitement de video

Systeme de traitement de video

- Développement depuis les années 1970 des méthodes de vision par ordinateur
 - Difficulté à fonctionner en temps réel
 - Traitement de petites zones
- Progrès récents: la puissance de calcul des ordinateurs est améliorée et de nouvelles méthodes ont été développées.
- Un écart existe entre l'état de l'art en vision par ordinateur et les applications pratiques dans les transports



Systeme de traitement de video

Systeme de traitement de video

Donnees collectees

- Peut remplacer plusieurs boucles inductives dans le sol; peut fournir une detection des vehicules sur plusieurs voies et peut reduire les cots de maintenance.
 - Comptages horodatés de la circulation
 - Reconnaissance de plaque d'immatriculation
 - Temps inter vehiculaire
 - Classification des vehicules
 - Presence
 - Occupation des voies
 - La vitesse
 - Trajectoire et mouvements de virage
 - Les accidents
 - Changements de voie
 - Densité de vehicule
 - Temps de parcours, etc.

Systeme de traitement de video

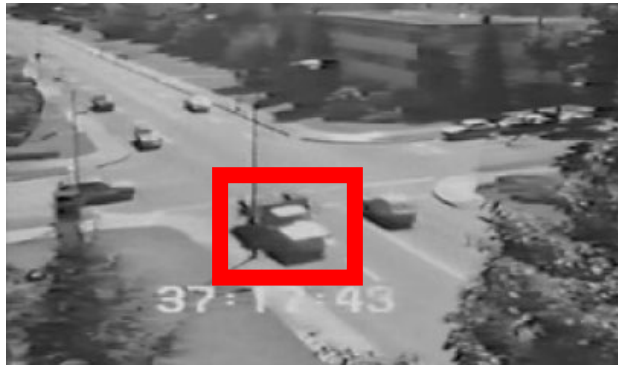
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Possibilité de surveiller plusieurs zones/voies.➤ Facile à ajouter et modifier des zones de détection.➤ Riche éventail de données disponibles.➤ Fournit une détection étendue lorsque les informations recueillies à un emplacement peuvent être liées à un autre.➤ Peut collecter régulièrement (en continu) des données de circulation.➤ Son installation en hauteur rend cette technologie non-intrusive pour la circulation.➤ Coûteux mais généralement rentable lorsque de nombreuses zones de détection dans le champ de vision de la caméra ou des données spécialisées sont nécessaires.➤ Capacité de vérification ultérieure des données	<ul style="list-style-type: none">➤ Installation et maintenance, y compris le nettoyage périodique des lentilles de caméra, nécessitent la fermeture de la voie lorsque la caméra est montée au-dessus de la route.➤ Performance affectée par des intempéries telles que le brouillard, la pluie et la neige; les ombres des véhicules; projection du véhicule dans les voies adjacentes; transition du jour au soir; contraste entre le véhicule et la route.➤ L'activation fiable des feux de circulation adaptés nécessite un éclairage des rues.➤ Nécessite une hauteur d'installation suffisante pour une détection de présence et une mesure de vitesse optimales.➤ Sensible au mouvement de la caméra causé par des vents forts ou des vibrations.

Systeme de traitement de video



Séquence d'images

+
Calibration de la caméra
+



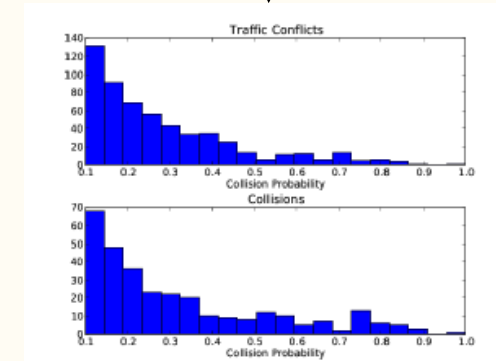
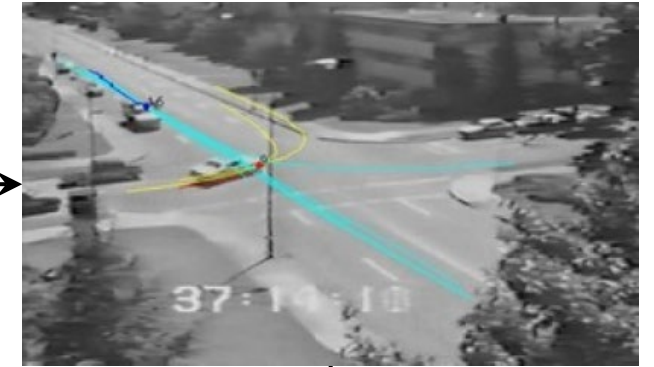
Images étiquetées par type d'utilisateur



Applications



Distribution des mouvements, volumes, identification des origines-destinations, comportement des usagers, etc.

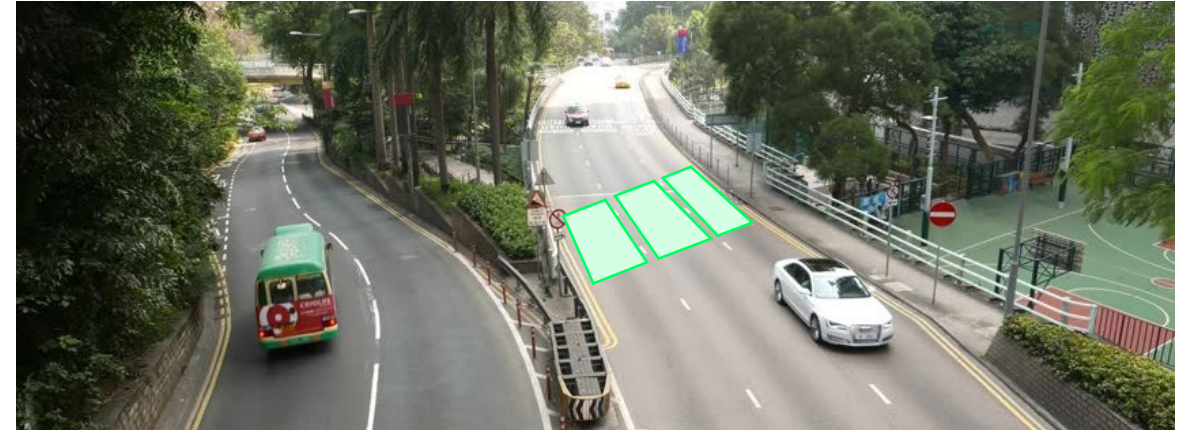


Conflits de trafic, mesures de sévérité et d'exposition, comportements en interaction, etc.

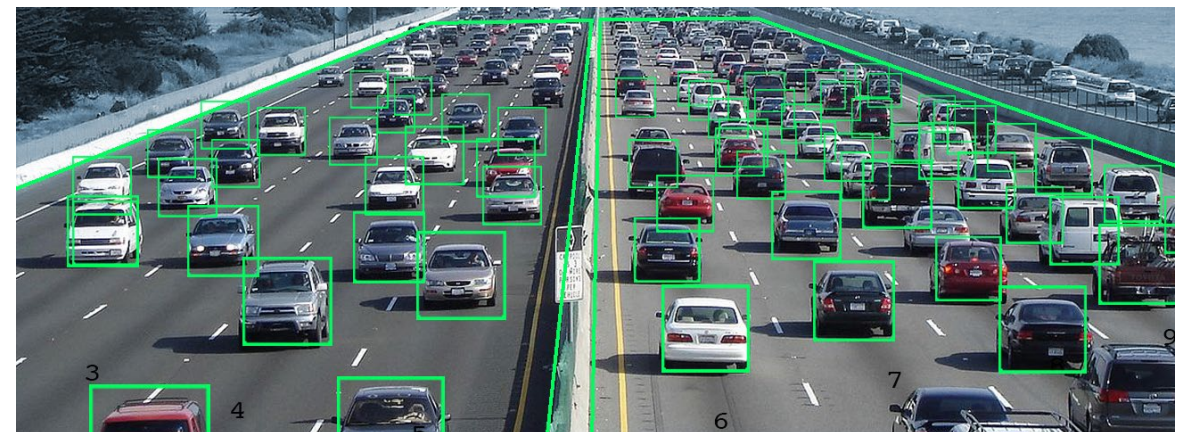
Système de traitement de vidéo

Principes de l'analyse vidéo

- Les images sont des matrices de pixels
- 2 méthodes
 1. Traitement de régions limitées de l'image : définition de lignes et régions d'intérêt sur l'image de la chaussée qui émulent des "capteurs virtuels" ponctuels comme des boucles.
 2. Traitement de la totalité de l'image : détection de tous les objets d'intérêt et de leurs trajectoires (besoin d'informations supplémentaires pour interpréter les mouvements)



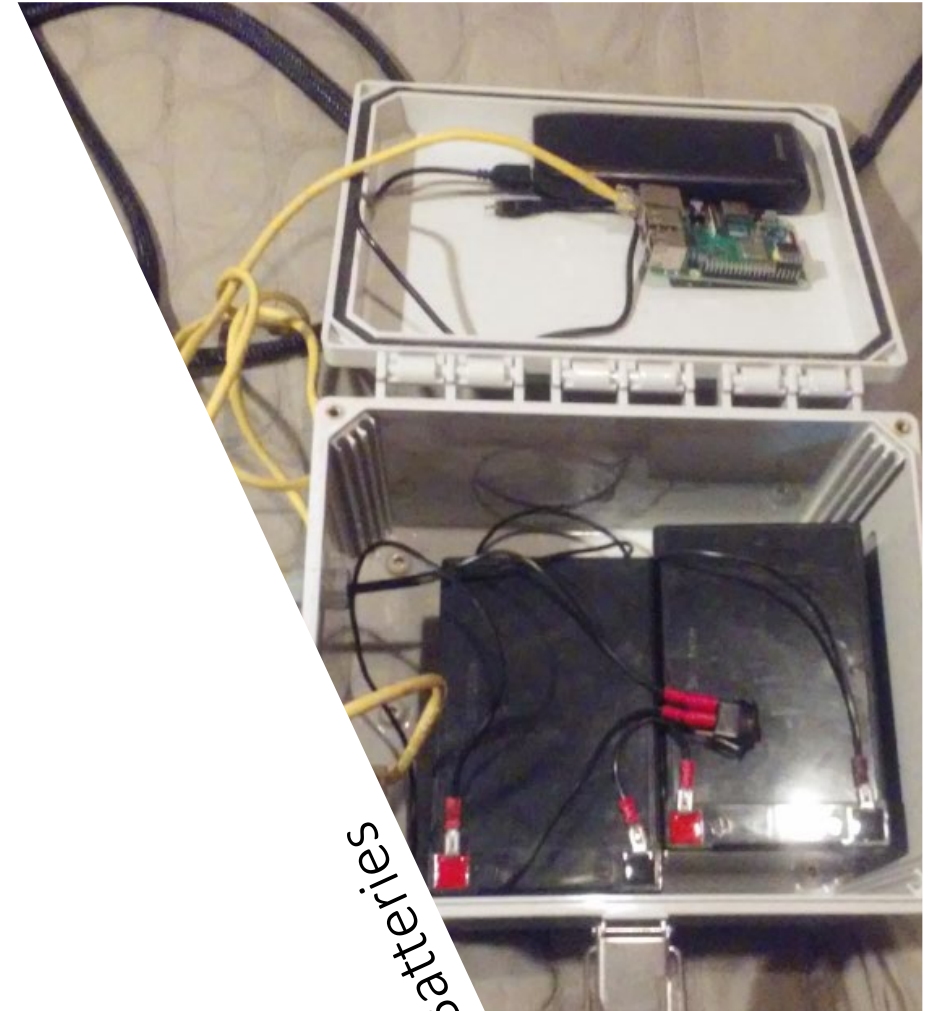
Traitement de régions limitées de l'image



Traitement de la totalité de l'image

Systeme de traitement de video

Exemple d'application



Systeme de traitement de video

Video Analysis

1. La distorsion de l'image est corrigée



Système de traitement de vidéo

Video Analysis

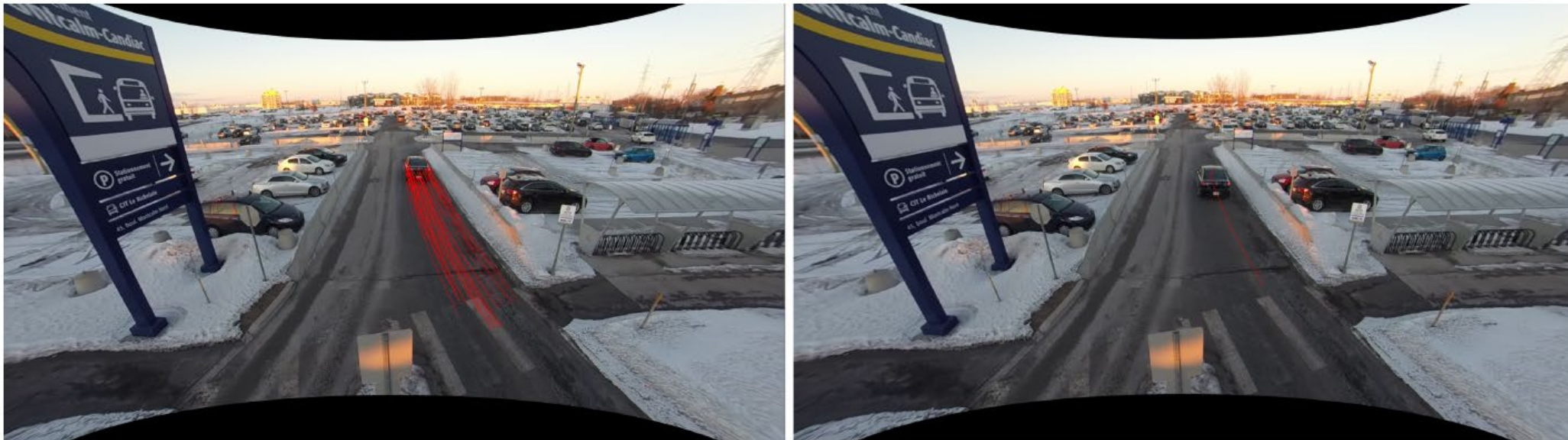
1. La distorsion de l'image est corrigée.
2. La relation entre les positions dans l'espace de l'image et les positions des véhicules au niveau du sol dans le monde réel est déterminée.



Système de traitement de vidéo

Video Analysis

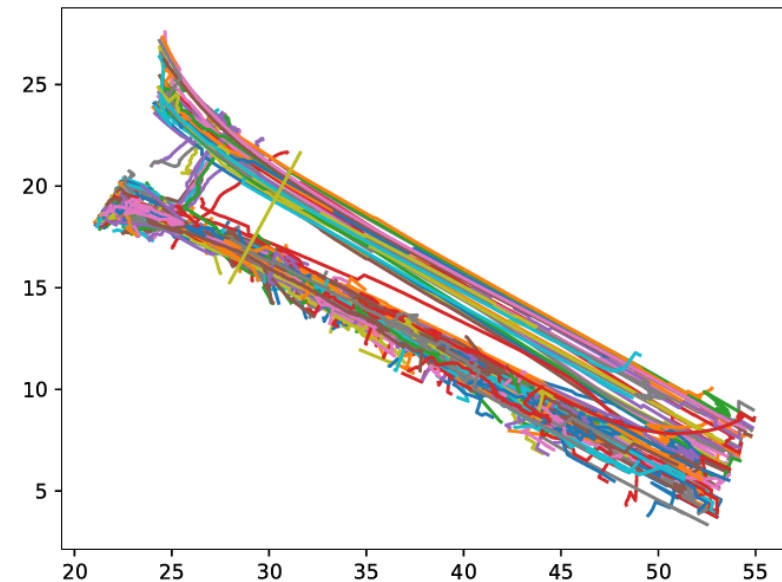
1. La distorsion de l'image est corrigée.
2. La relation entre les positions dans l'espace de l'image et les positions des véhicules au niveau du sol dans le monde réel est déterminée.
3. La détection et le suivi des véhicules : « Traffic Intelligence »



Système de traitement de vidéo

Video Analysis

1. La distorsion de l'image est corrigée.
2. La relation entre les positions dans l'espace de l'image et les positions des véhicules au niveau du sol dans le monde réel est déterminée.
3. La détection et le suivi des véhicules : « Traffic Intelligence »
4. Calcul des instants d'entrées ou de sorties des véhicules



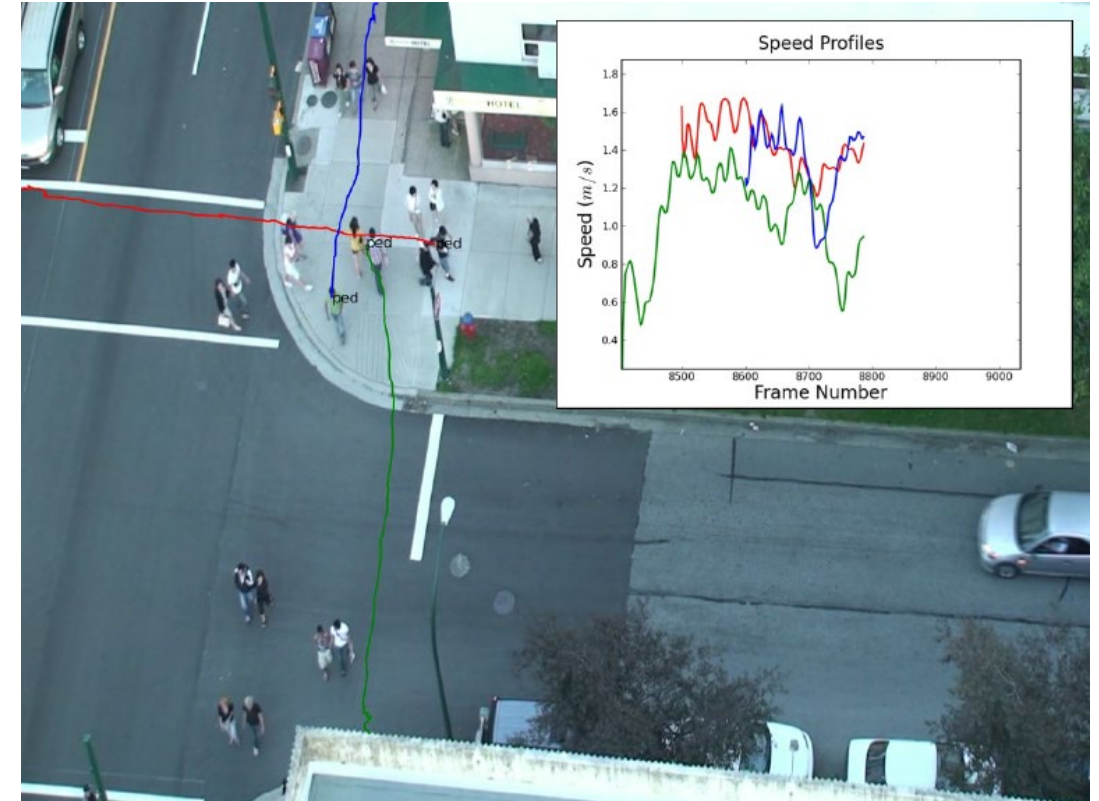
Système de traitement de vidéo

Exemples de « Tracking »



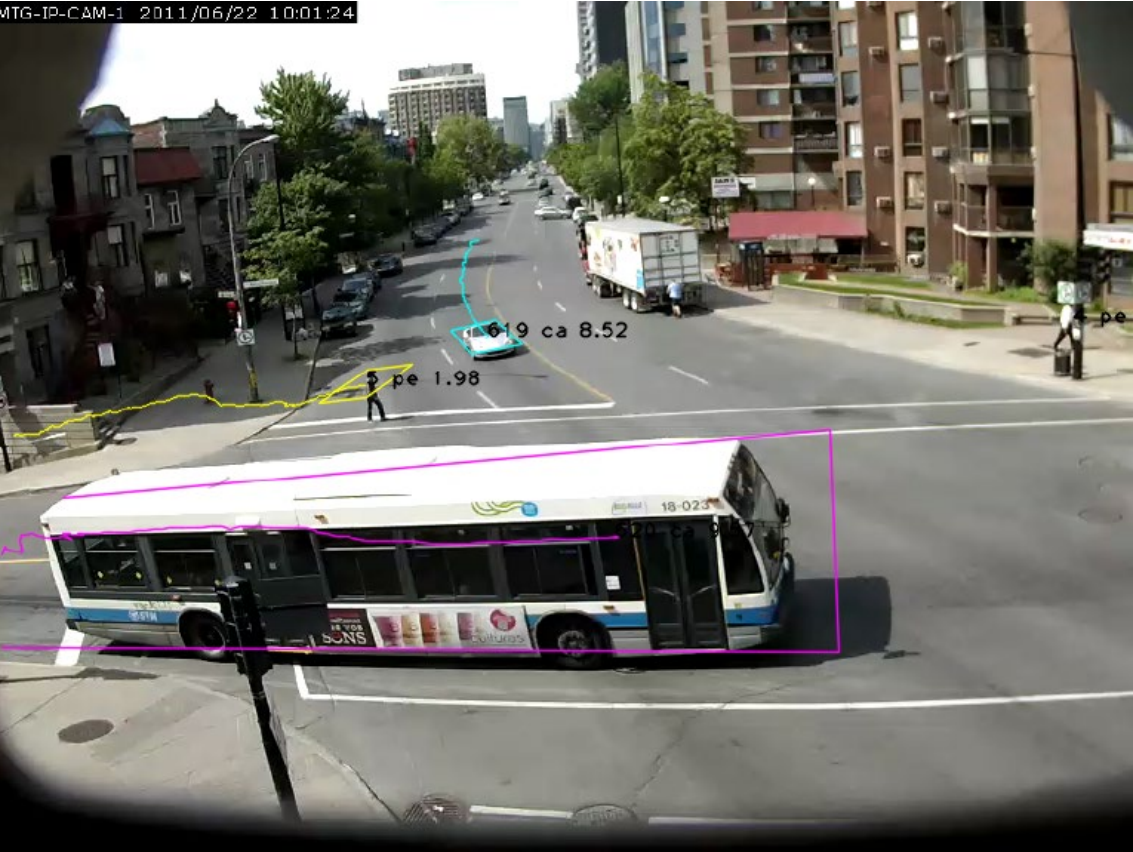
Système de traitement de vidéo

Exemples de « Tracking »



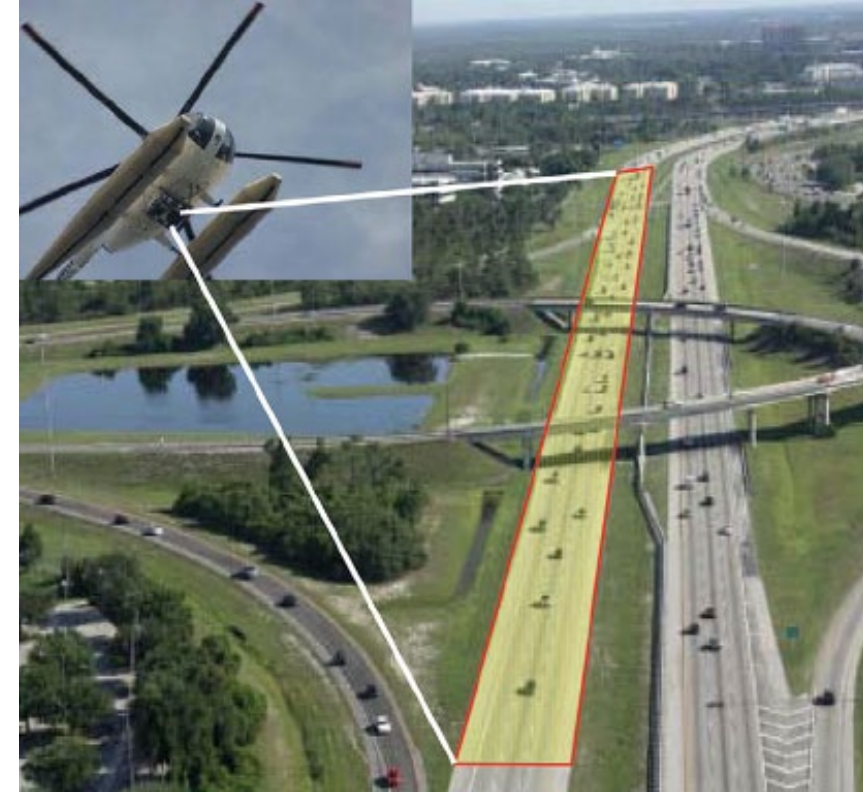
Système de traitement de vidéo

Exemples de « Tracking »



Imagerie aérienne

- Les projets de transport ont bénéficié de la photographie aérienne de plusieurs manières:
 - Localisation de la route, études topographiques, modélisation numérique du terrain et production de courbes de niveau.
- L'imagerie aérienne nécessite généralement l'utilisation d'hélicoptères avec ou sans pilote dans pour surveiller et observer la circulation routière à des fins de collecte de données.



Hélicoptère sans pilote comme capteur

Imagerie aérienne

Données collectées

- Les photos aériennes capturées contiennent des snapshots du trafic sur les routes, à partir desquels des données spatiales telles que l'espacement (c'est-à-dire la séparation spatiale entre deux véhicules consécutifs), le nombre de véhicules sur un segment routier et la densité peuvent être calculés.
- De plus, l'analyse de photos aériennes consécutives peut fournir des informations sur la vitesse des véhicules et la vitesse moyenne de la circulation.

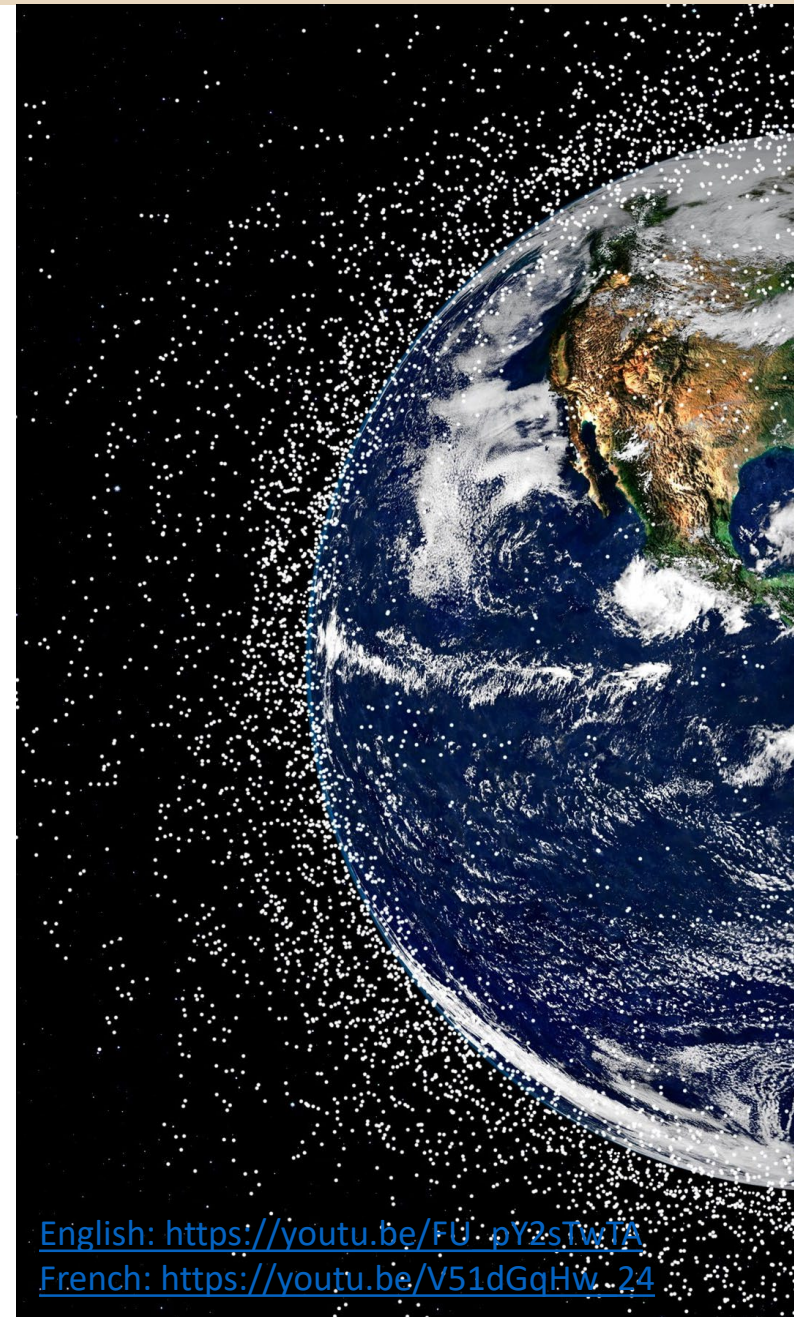
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ La surveillance de la circulation peut être effectuée avec une grande précision.➤ Il n'est pas nécessaire d'installer du matériel sur ou à proximité des routes, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une technologie non-intrusive et non-interruptive.➤ Il est possible de couvrir davantage de surface et de fournir une vue d'ensemble des conditions de circulation à l'échelle du système.	<ul style="list-style-type: none">➤ Les hélicoptères sont chers et peuvent nécessiter des pilotes pour les faire fonctionner.➤ La collecte des données sur la circulation routière prend du temps et des ressources.➤ Période limitée de collecte de données.➤ L'analyse des photos aériennes est compliquée.➤ Les conditions météorologiques réduisant la visibilité affectent les résultats.

Système mondial de géolocalisation

- Le système mondial de géolocalisation (GPS) est largement utilisé dans la navigation des automobiles et les études de circulation telles que les études de temps de parcours.
- Les téléphones portables sont généralement équipés de fonctions de positionnement et sont donc considérés dans la même catégorie que le GPS.
- Si un véhicule transporte un récepteur GPS à bord et qu'il est configuré pour enregistrer les signaux GPS, il est possible d'enregistrer les positions du véhicule et l'heure de passage lorsque le véhicule se déplace le long de la route.
- Le véhicule laisse une trace spatio-temporelle de points dans le diagramme espace-temps.
- Une courbe qui relie ces points représente la trajectoire du véhicule.
- A partir de cette trajectoire, le mouvement de ce véhicule peut être compris.



Time-space diagram of vehicle trajectories



English: https://youtu.be/FU_pY2sTwIA
French: https://youtu.be/V51dGqHW_24

Systeme mondial de géolocalisation

Données collectées

- Les données spécifiques aux mouvements du véhicule telles que la vitesse instantanée, la vitesse moyenne, la distance parcourue et le temps de parcours sont collectées.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">➤ Abordable➤ Installation facile➤ Insensible aux conditions météorologiques et d'éclairage➤ Largement utilisé➤ « Routing » plus efficace	<ul style="list-style-type: none">➤ Les récepteurs GPS fournissent uniquement des données spécifiques au véhicule. Pour disposer d'informations fiables sur le trafic, les données doivent être collectées pour une flotte de véhicules.➤ Les signaux GPS peuvent être obstrués par de grands bâtiments et des arbres.

Système mondial de géolocalisation

Données collectées

- Le satellite radar allemand TerraSAR-X lancé en 2007 permet le suivi des véhicules.
- Avantage: insensible aux conditions météorologiques

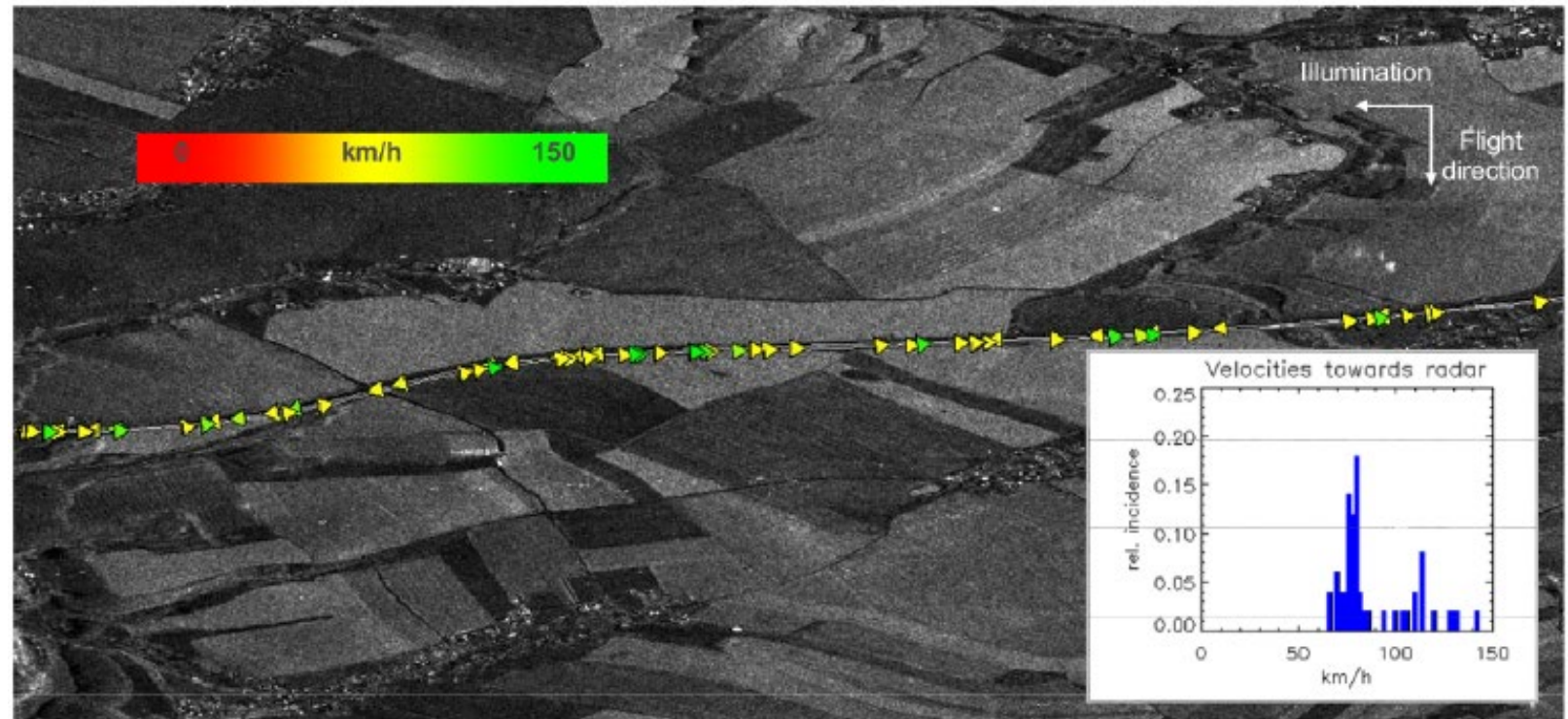


Figure 2 TerraSAR-X Traffic Measurement on the A4 Motorway West of Dresden, Germany

Classification des capteurs de trafic

Selon son emplacement, le capteur peut être:

- **Capteur mobile** : Réside dans un véhicule, se déplace avec le véhicule et enregistre l'emplacement de ce véhicule particulier au fil du temps. Les récepteurs GPS et les téléphones portables sont des exemples de capteurs mobiles.
- **Capteur fixe** : Monté à un endroit fixe le long de la route et observe le trafic uniquement à cet endroit particulier. Les détecteurs à boucle inductive, les tubes pneumatiques et la technologie RFID sont des exemples de capteurs ponctuels.
- **Capteur spatial** : Peut prendre un snapshot du trafic sur un tronçon de route. Les hélicoptères et les satellites sont des exemples de capteurs spatiaux.

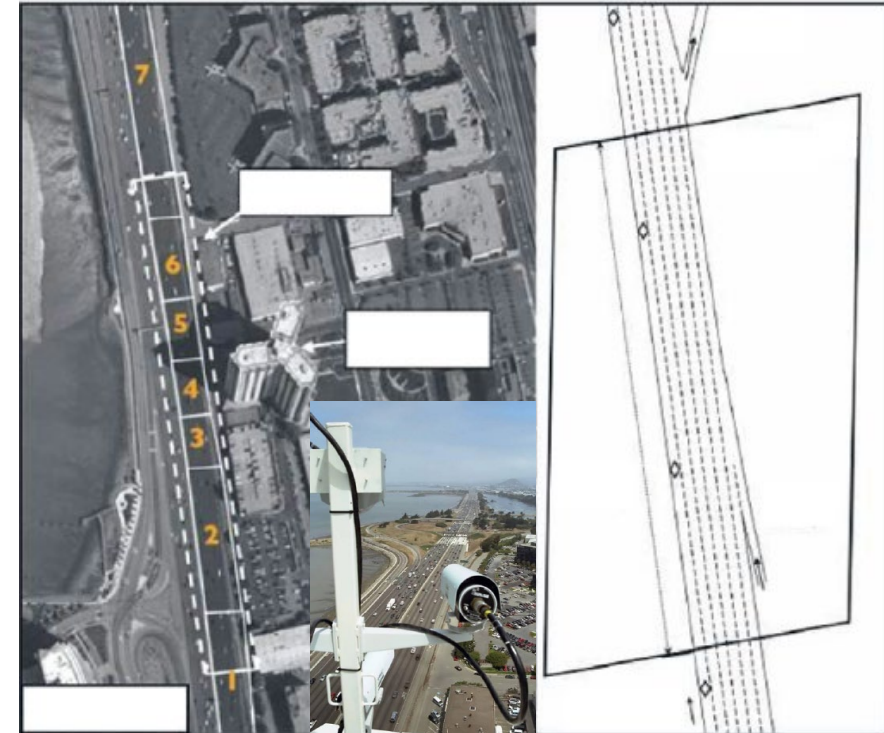
Classification des capteurs de trafic

Selon la mesure dans laquelle un capteur pénètre dans la chaussée, le capteur peut être:

- **Intrusif** si l'installation du système de détection nécessite des travaux de chaussée et une interruption de la circulation. Les détecteurs à boucle inductive et les tubes pneumatiques sont des exemples de capteurs intrusifs.
- **Non intrusif** si l'installation du système de détection ne nécessite pas de travaux sur la chaussée et d'interruption de la circulation. Les capteurs de vidéo et les technologies RFID sont des exemples de capteurs non intrusifs.
- **Hors route** si le capteur n'est pas fixé à un emplacement sur la chaussée, c'est-à-dire qu'il peut se déplacer avec des véhicules ou flotter dans le ciel. Les récepteurs GPS, les téléphones portables, les hélicoptères et les satellites sont des exemples de capteurs spatiaux (Hors route).

Exemple de sources de données

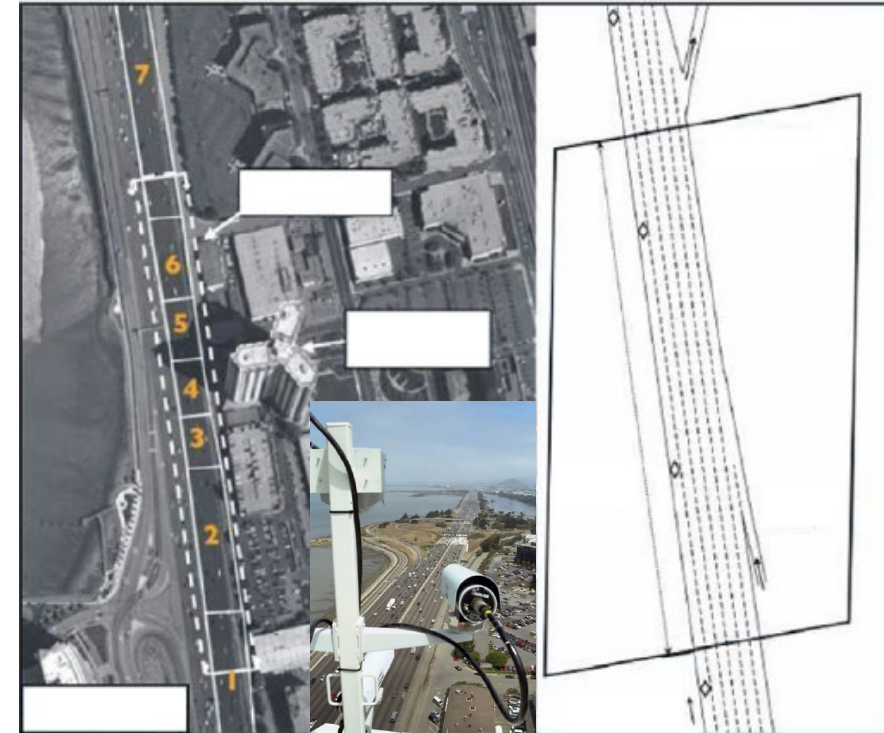
- L'un des plus grands défis des études en circulation est le manque de données microscopiques suffisamment précises pour l'analyse détaillée des interactions des véhicules afin de comprendre les nuances menant au développement, à la calibration et à la validation des modèles empiriques.
- La collecte de telles données est très difficile.
- Par conséquent, les progrès de la théorie microscopique des flux de trafic sont très lents.
- Au début des années 2000, la communauté de la théorie de circulation a reconnu le besoin de données microscopiques précises, ce qui a conduit à la collecte des ensembles de données de simulation (Next Generation Simulation – NGSIM).
- Il existe deux ensembles de données NGSIM:
 - I-80 avec 5678 véhicules collectés en 45 min pendant la période de pointe du soir sur 0,33 mi d'autoroute contenant une seule bretelle d'accès,
 - US-101 avec 6 101 véhicules recueillis en 45 minutes pendant la période de pointe du matin sur 0,42 mi d'autoroute contenant une bretelle d'accès et une bretelle de sortie.



I-80 en Californie

Exemple de sources de données

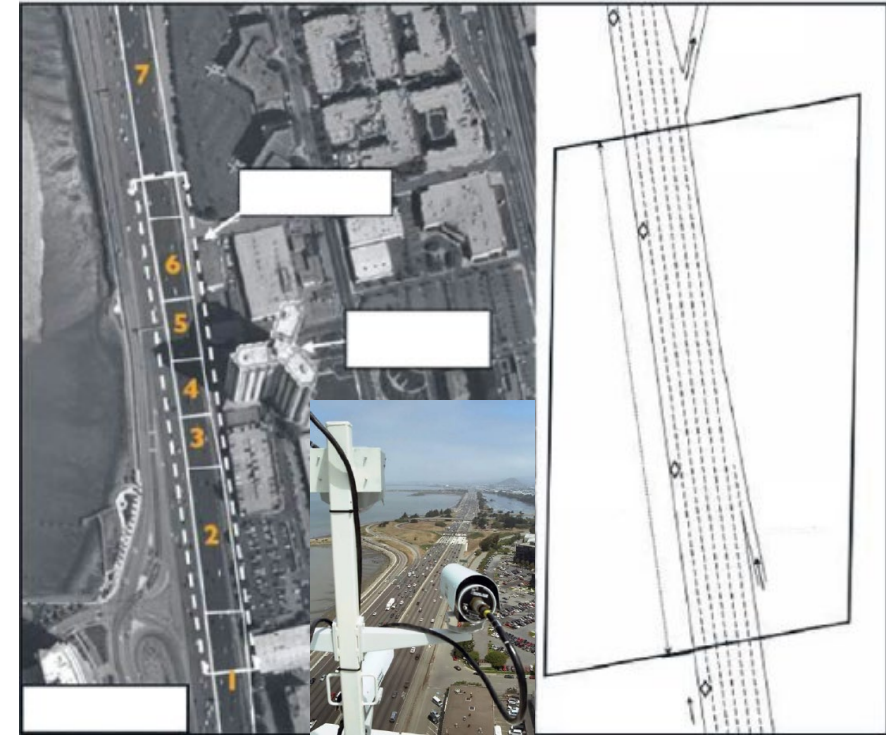
- Sept caméras vidéo ont été installées en haut d'un bâtiment de 30 étages, chaque caméra couvrant une partie de la zone d'étude.
- Ces caméras ont filmé le site sous différents angles de sorte qu'un véhicule entrant par l'amont est surveillé en continu et consécutivement par ces caméras jusqu'à ce qu'il sorte de la zone d'étude.
- Depuis que les données NGSIM ont été publiées il y a dix ans, le nombre d'études sur les modèles microscopiques de la circulation a explosé et les données NGSIM constituent maintenant la base de nombreuses avancées récentes dans les modèles microscopiques de la circulation.



I-80 en Californie

Exemple de sources de données

- Les vidéos capturées par ces caméras ont ensuite été traitées par une logicielle adaptée qui identifie, suit et enregistre les positions spatio-temporelles de chaque véhicule lorsque le véhicule traverse les zones d'étude.
- Les résultats fournissent l'emplacement précis de chaque véhicule dans les zones d'étude toutes les 0,1 s.



I-80 en Californie



Références

- May, A. D. (1990). *Traffic flow fundamentals*.
- Gartner, N. H., Messer, C. J., & Rathi, A. (2002). Traffic flow theory-A state-of-the-art report: revised monograph on traffic flow theory.
- Ni, D. (2015). *Traffic flow theory: Characteristics, experimental methods, and numerical techniques*. Butterworth-Heinemann.
- Kessels, F., Kessels, R., & Rauscher. (2019). *Traffic flow modelling*. Springer International Publishing.
- Treiber, M., & Kesting, A. (2013). Traffic flow dynamics. *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2014). *Traffic and highway engineering*. Cengage Learning.
- Elefteriadou, L. (2014). *An introduction to traffic flow theory* (Vol. 84). New York: Springer.
- Victor L. Knoop (2017), Introduction to Traffic Flow Theory, Second edition
- Serge P. Hoogendoorn, Traffic Flow Theory and Simulation
- Nicolas Saunier, Course notes for “Traffic Flow Theory – CIV6705”
- Mannering, F., Kilareski, W., & Washburn, S. (2007). *Principles of highway engineering and traffic analysis*. John Wiley & Sons.
- Haight, F. A. (1963). *Mathematical theories of traffic flow* (No. 519.1 h3).



Thank
You

RCEHEBO
→