

RAPPORT 904-2

**DÉTERMINATION AUTOMATIQUE DES POSITIONS ET GUIDAGE
DANS LE SERVICE MOBILE TERRESTRE**

(Question 51/8)

(1982-1986-1990)

1. Résumé

Comme son nom l'indique, un système LAV (Localisation Automatique de Véhicules) détermine automatiquement les positions respectives des véhicules d'un parc automobile qui se déplacent dans une zone géographique donnée.

Un système LAV comprend le sous-système de localisation des véhicules, le sous-système de transmission de données et le sous-système de commande et de traitement des données. Dans une exploitation de transports, qu'il s'agisse de la police, de la lutte contre les incendies, des transports publics, des taxis, etc., une grande proportion des communications téléphoniques échangées sur des voies radioélectriques du service mobile est toujours constituée de messages de routine portant principalement sur la position des véhicules.

Les techniques LAV qui permettent à ce système de satisfaire aux conditions de transport terrestre d'utilisateurs peuvent se classer en cinq grandes catégories: localisation par proximité, à l'estime, systèmes hyperboliques, systèmes à satellites ou combinaison de deux de ces techniques ou plus, chacune d'elles ayant ses avantages et ses inconvénients. La détermination de la technique la plus efficace dépend de la catégorie d'utilisateurs et du mode d'exploitation [Hansen, 1977].

Au cours des dernières années, des systèmes mobiles terrestres spécialisés LAV ont été mis en place dans de nombreux pays. Ces systèmes, ainsi que les systèmes de radiorepérage par satellite qui seront totalement déployés dans les années 90, et les systèmes de navigation de zone déjà établis offriront sans aucun doute une large possibilité de choix aux usagers. Un système LAV et un système d'indication de position ont récemment été mis en exploitation au Royaume-Uni; les résultats des essais de ces systèmes sont exposés à l'Annexe I.

Des systèmes LAV opérationnels au Japon et en Australie sont décrits à l'Annexe II et l'Annexe III respectivement.

Parallèlement à la mise au point des systèmes LAV, de nombreux projets de recherche et développement ont aussi été entrepris dans le domaine de la navigation et du guidage des véhicules. L'exploitation de ces systèmes repose sur les mêmes techniques que celles qui sont utilisées dans les systèmes LAV; ce qui les distingue toutefois est que, dans les systèmes de navigation et de guidage, les usagers reçoivent des conseils sur l'itinéraire à suivre pour parvenir à la destination choisie. De nombreux pays s'intéressent aux systèmes de navigation et de guidage des véhicules. Des projets tels que Drive et Prometheus ont été lancés dans le cadre d'une collaboration européenne. On trouvera une description de ces systèmes à l'Annexe IV.

2. Introduction

Ces dernières années, dans le monde entier, un nombre croissant d'exploitations de transport pour la police ou le public ont compris que connaître la position des véhicules peut présenter de grands avantages. Certaines d'entre elles, en Europe, au Japon et en Amérique du Nord, se sont déjà équipées d'un système LAV.

Il importe de plus en plus de trouver le moyen de réduire le coût des services de transport terrestre avec régulation radioélectrique de la circulation des véhicules, dont le renchérissement continu provient de l'augmentation générale des dépenses de fonctionnement et d'entretien des véhicules, et de la pression croissante exercée par le public en vue de l'amélioration de ces services.

Dans un service de transport, il est particulièrement important de connaître à chaque instant la position précise de chaque véhicule en mouvement.

Un système LAV, avec la réduction de données qui lui est associée, peut donner instantanément les renseignements nécessaires à la commande et à l'ajustement des opérations d'un parc de véhicules, ce qui permet une utilisation plus efficace et plus productive du personnel et du matériel.

3. Problème d'exploitation

Il n'existe aucun organisme compétent pour définir les conditions d'exploitation des nombreux types d'utilisation du système LAV. Les conditions générales ci-après ont été indiquées par les utilisations potentielles du système.

3.1 Précision de position

De 100 à 200 m pour de nombreux services. Certains exigent une précision de 10 m, d'autres (p. ex. les systèmes de transports routiers à grande distance) se contentent d'une précision d'environ 1 km.

3.2 Périodicité de l'actualisation

En théorie, une fois par minute ou environ, pour les véhicules qui doivent être rapidement déployés dans des zones restreintes (par exemple, voitures de police, de pompiers, ambulances) mais moins souvent lorsqu'il s'agit de couvrir des zones plus étendues ou des routes déterminées.

En pratique, des intervalles réalisables entre les mises à jour peuvent être régis par la cadence avec laquelle les choix de la route sont présentés à chaque véhicule. Ces cadences sont proportionnelles à la fréquence des bifurcations dans la zone de parcours et aux vitesses des véhicules.

3.3 Zone de couverture

Des zones d'exploitation pouvant atteindre une superficie de 100 km × 100 km sont courantes pour de nombreux systèmes (par exemple police, pompier, ambulance, autobus, taxis). Certaines opérations sont limitées à des zones beaucoup plus petites de 10 km² de côté au plus. D'autres opérations exigent parfois une couverture continentale.

4. Analyse de coût/avantages

Les paragraphes ci-après indiquent en résumé les avantages [Wilson, 1977] qu'on peut retirer du système dans le cas des deux modes d'exploitation suivants: itinéraires fixes, comme pour les transports publics, et itinéraires imprévisibles, comme pour les véhicules de police et les taxis.

4.1 Avantages possibles pour un service à itinéraires fixes

- diminution de l'effectif des conducteurs et des contrôleurs;
- répartition plus uniforme des passagers dans les véhicules;
- accélération de la rotation des autobus, ce qui permet de diminuer leur nombre et l'effectif du personnel;
- amélioration de la ponctualité du service;
- amélioration de l'efficacité de réponse en cas d'urgence et pour l'envoi d'un véhicule de remplacement;
- augmentation du nombre de passagers, du fait que l'information de localisation est fournie de manière pratique et ponctuelle au public.

Pour de nombreux systèmes à itinéraires fixes les conditions du système LAV peuvent être satisfaites par des moyens autres que les services radioélectriques.

4.2 Avantages possibles pour un service à itinéraires imprévisibles

- réduction du délai d'attente qui suit les appels d'urgence ou de service;
- diminution du nombre des véhicules nécessaires à la desserte d'une même zone;
- diminution du kilométrage à vide.

4.3 Rentabilité d'un système LAV

Il ressort d'une étude menée au moyen d'un modèle sur ordinateur que l'emploi d'un système LAV [Symes, 1979] permet d'obtenir un rapport économie/coût de 7 à 1 dans le cas de transports publics et même de 13 à 1 dans le cas d'un parc automobile de la police.

Bien que, en principe, tous les avantages énumérés plus haut entraînent une diminution des frais d'exploitation des services de transport, les systèmes LAV jusqu'ici installés en Europe et en Amérique du Nord sont destinés, en général, à accroître la fiabilité du service et, en particulier pour les services de police, à diminuer le délai d'attente qui suit les appels d'urgence ou de service.

Dans certaines entreprises européennes de transport public, on a constaté que l'installation d'un système LAV conduit à réduire le nombre des autobus nécessaires; les véhicules excédentaires sont toutefois conservés en prévision d'une extension du service [Herrman et Zimmermann, 1974].

Une analyse de coût/avantages menée au Canada fait apparaître un avantage incontestable, pouvant correspondre à un rapport de 2 à 1 [Fujaros, 1976].

5. Efficacité de l'utilisation du spectre

Avec l'installation d'un système LAV, l'information de localisation représente une grande proportion des radiocommunications téléphoniques [Fujaros, 1976], la position est automatiquement communiquée, sous forme de données, par les véhicules aux centres de commande. Cette communication automatique facilite aussi la transmission d'autres messages de routine sur l'état des véhicules, ce qui peut conduire à une meilleure utilisation du spectre dans les services mobiles terrestres. On a estimé [Cortland, 1986] qu'on pouvait réduire de 20 à 25% le nombre de communications téléphoniques entre les véhicules et les postes de commande.

Pour certains systèmes, il n'est pas nécessaire de prévoir d'attribution additionnelle de fréquences. Ils utilisent les émissions existantes des aides à la radionavigation qui sont conçues pour déterminer les positions des navires et des aéronefs. A titre d'exemple, citons les systèmes Loran-C et Decca. Toutefois certains d'entre eux n'assurent qu'une couverture restreinte en particulier à terre.

Les systèmes à satellites tels que GPS, décrit plus loin, ainsi que les deux systèmes mentionnés ci-dessus, sont essentiellement des systèmes de diffusion qui peuvent répondre aux besoins d'un nombre illimité d'utilisateurs.

On peut employer les systèmes LAV en vue d'améliorer l'utilisation du spectre par d'autres services mobiles comme l'indiquent les exemples suivants.

5.1 Application à des systèmes cellulaires

Il a été démontré que le système LAV pouvait être un instrument de mesure très utile [Meek, 1988] capable de fournir des données de couverture précises afin d'améliorer l'utilisation des réseaux téléphoniques cellulaires. De plus, des informations de position précises sur les stations mobiles pourraient permettre d'améliorer la commande du système en dirigeant les appels sur la station de base appropriée et en effectuant la commande de transfert. Il faudra étudier cette possibilité en tenant compte toutefois du fait qu'elle risque d'accroître la complexité du système.

5.2 Commande des systèmes microcellulaires

On met actuellement au point de nombreuses techniques à bande étroite et à large bande pour améliorer l'utilisation du spectre. Une méthode possible consiste à utiliser un système microcellulaire. La zone couverte par une microcellule étant peu étendue, des transferts fréquents peuvent être nécessaires. Avec la mise en oeuvre d'un système LAV, la fréquence porteuse du canal peut être commutée lorsqu'une unité mobile franchit la limite d'une microcellule connue [Towaij, 1983]. Pour l'exploitation du système

microcellulaire, la position de chaque unité mobile doit être connue du contrôleur de réseau. On a recours à une technique de proximité pour déterminer la position de chaque unité mobile lorsqu'elle passe dans la zone des stations de base. Chaque station de base est désignée par un code ID exclusif. Des émissions de courte durée et de faible puissance sont faites à partir de chacune des stations de base une fois toutes les deux secondes. Chaque salve contient un drapeau, l'identité de la station de base et les signaux de commande.

6. Techniques LAV

Les techniques LAV susceptibles de répondre aux besoins d'exploitation des usagers du service radioélectrique mobile terrestre peuvent se classer en cinq catégories: localisation par proximité, à l'estime, systèmes hyperboliques, systèmes à satellites ou combinaison de deux de ces techniques ou plus.

6.1 Techniques de localisation par proximité

La localisation du véhicule est déterminée lorsque celui-ci passe devant les détecteurs fixes ("signposts") situés le long de la route, qu'on appelle parfois des balises routières et dont les positions sont connues avec précision. On a recours à une large gamme de techniques pour communiquer les informations entre les détecteurs routiers et les véhicules en circulation, y compris circuits à induction, émissions en ondes décimétriques, en hyperfréquences et en infrarouge. Il existe deux types différents de détecteurs selon la direction du flux d'information:

- les détecteurs actifs: les signaux de localisation sont émis depuis le détecteur à destination des véhicules;
- les détecteurs passifs: les signaux sont émis depuis le véhicule à destination du détecteur.

Pour évaluer la proximité, on a recours à deux méthodes qui se caractérisent par l'une des procédures suivantes:

- proximité directe: le détecteur actif transmet sa position au véhicule, qui transmet lui-même ses données par liaison radioélectrique à l'ordinateur central;
- proximité inverse: le véhicule transmet ses données au détecteur passif, qui les transmet lui-même à l'ordinateur central par liaison en câble ou par liaison radioélectrique.

La précision des techniques de proximité est en rapport direct avec l'espacement entre les détecteurs.

6.2 Techniques de localisation à l'estime

Ces techniques font appel à des détecteurs de cap et de distance parcourue (odomètres) pour calculer la localisation des véhicules par rapport à des points de référence fixes connus. Le calcul peut être fait à bord du véhicule ou dans l'ordinateur central. La précision du résultat dépend des dispositifs de détection, de la fréquence de mise à jour des références et des conditions extérieures qui peuvent être difficiles (variations du champ magnétique, dérapage des roues, bombement de la chaussée, etc.).

6.3 Techniques hyperboliques

La localisation des véhicules se fait d'après les différences de distance entre les véhicules et trois points fixes ou davantage. Il peut s'agir de différences de phase entre les signaux reçus (multilatération de phase) ou par des différences de temps d'arrivée des fronts avant de signaux à impulsions synchronisées (multilatération d'impulsions) produisant des hyperboles de différences constantes de phase ou de temps. La localisation des véhicules peut être calculée d'après l'intersection de ces courbes. Les techniques de détermination de la position peuvent faire appel à des systèmes spécifiques au service mobile terrestre ou à des systèmes de navigation existants (Loran-C ou Decca).

6.4 Techniques utilisant des satellites

La position d'un mobile est déterminée par la mesure précise des distances entre le récepteur et les satellites à un instant donné. Il faut quatre satellites pour établir un relèvement à trois dimensions. La position des satellites doit être connue avec précision au moment où la mesure est effectuée si l'on veut garantir la précision de l'ensemble du système. Il est à noter que les positions des satellites peuvent ne pas correspondre aux prédictions fournies par les renseignements récents sur l'orbite en raison d'un entraînement provoqué par des vents solaires anormaux en période de perturbations solaires. Il risque d'être impossible d'appliquer des corrections pendant plusieurs heures à la suite de ces écarts.

D'une manière générale, il existe deux types de systèmes présentant des caractéristiques différentes de l'équipement de l'utilisateur mobile:

- équipement actif: la communication bidirectionnelle entre l'unité mobile et sa station de commande au sol est assurée par satellite. Les calculs de position sont effectués à la station au sol et les données ainsi obtenues sont retransmises à l'unité mobile;
- équipement passif: les signaux de navigation sont diffusés à l'unité mobile. La position du véhicule est déterminée par le matériel mobile.

6.5 Combinaison des techniques

Il est possible d'associer deux techniques ou plus pour améliorer les résultats que donnerait l'application d'une seule technique et pour constituer un système intégré.

7. Systemes LAV utilisables

7.1 Systeme hyperbolique à ondes kilométriques

Etant donné la couverture des émetteurs existants, il est possible de fournir des données de position à de nombreux usagers mobiles. Les résultats des essais indiqués à l'Annexe I ont été obtenus à l'aide de ce système testé à Londres.

7.2 Systeme hyperbolique en ondes décimétriques à étalement du spectre

Un système LAV de Terre, faisant appel à des balises interrogeables à spectre d'émission étalé, installées à bord des véhicules à localiser, a été mis au point et implanté en Australie. Spécialement conçu pour les environnements urbains, ce système a permis d'obtenir des précisions de localisation de l'ordre de 30 m sur des véhicules en mouvement ou à l'arrêt, avec une durée de mesure égale à 1 seconde. Un procédé spécial de multiplexage par répartition en fréquence confère au système un débit de localisation élevé (voir l'Annexe III).

7.3 Systèmes à détecteurs ("signposts") et de localisation à l'estime

Le système pilote testé à Londres se compose d'environ 700 détecteurs ("signposts") installés le long des rues et fonctionnant en ondes décimétriques. L'équipement de bord du véhicule est initialisé lorsqu'il se trouve pour la première fois dans la zone de couverture d'un détecteur. Entre les détecteurs, la position du véhicule est déterminée par la technique de localisation à l'estime, sur la base de la dernière initialisation. Chaque fois que le véhicule s'approche d'un autre détecteur, l'équipement de bord est réinitialisé par les signaux de référence émis continuellement par le détecteur de sorte que les erreurs accumulées sont éliminées. La position du véhicule est automatiquement mise en mémoire dans la mémoire se trouvant à bord du véhicule même lorsque le moteur est à l'arrêt. Ce système peut donner des renseignements utiles sur la position dans le réseau. Toutefois, l'installation d'un nombre considérable de détecteurs nécessaires pour obtenir une grande précision de localisation risque d'être coûteuse.

7.4 Système Omega

Le système OMEGA d'aide à la radionavigation internationale en ondes myriamétriques est disponible gratuitement et il est certain qu'il continuera à fonctionner après l'an 2000.

Un important programme d'essais réels du système OMEGA, en version différentielle, a montré que dans des environnements très divers, y compris les zones montagneuses et les centres urbains, la précision est dans la pratique de 300 m pour un écart de $2 \sigma_{eff}$ (probabilité 95-98%) voire supérieure [Stratton, 1987].

La précision du système OMEGA différentiel peut diminuer lorsque la distance entre le dispositif de contrôle différentiel et le véhicule mobile dépasse 100 km; on peut aussi enregistrer un nombre sensiblement plus élevé d'erreurs la nuit. On en a décelé la raison qui tient aux variations diurnes de la vitesse locale et de la direction de propagation par rapport aux valeurs types utilisées pour convertir les mesures de phase différentielle en positions. En reliant les données obtenues par trois à quatre stations de surveillance, on parvient à mesurer en continu les variations d'azimut et de vitesse et appliquer les corrections nécessaires [Stratton, 1988].

Un système LAV utilisant le système OMEGA différentiel est opérationnel au Moyen-Orient.

7.5 Systèmes de radiorepérage par satellite

A partir de 1990, plusieurs systèmes de radiorepérage par satellite seront disponibles et on en donne une description ci-après.

TRANSIT [Blanchard, 1983], système de radionavigation par satellite actuellement opérationnel, n'a qu'une utilité très limitée pour les véhicules terrestres en raison de la longueur de son temps de mesure. D'ici 1996, TRANSIT sera remplacé par GPS.

Le système GPS qui sera probablement totalement opérationnel après 1992, indiquera le positionnement à trois dimensions et fournira des renseignements sur la vitesse. Les caractéristiques techniques du système GPS sont décrites dans l'Annexe I du Rapport 766-1.

GLONASS [OMI, 1989] est un système à satellites qui fournira des renseignements sur la position et la vitesse à des usagers civils lorsqu'il sera entièrement déployé entre 1991 et 1995. Dans sa conception, ce système est très voisin du GPS.

On prévoit qu'un projet de système de radiorepérage par satellite qui est en cours de mise au point en vue de son exploitation aux Etats-Unis d'Amérique à partir de 1991-1993 pourra assurer deux fonctions: localisation et communication. Des indications à trois dimensions avec une précision de l'ordre de 30-40 m pourront être obtenues, le temps de mesure étant inférieur à 1 s. Le système, qui utilisera des satellites géostationnaires du service de radiorepérage par satellite, est décrit dans le Rapport 1050. Un système de radiorepérage par satellite similaire qui a été envisagé pour fournir une couverture en Région 1 est en cours de mise au point [Hernandez, 1987].

8. Systèmes de guidage

Les systèmes de guidage reposent sur les mêmes techniques de base de localisation que celles qui sont utilisées par les systèmes LAV. Des informations de guidage étant en outre fournies aux véhicules en déplacement (voir l'Annexe IV).

9. Conclusions

Il convient de considérer les systèmes LAV comme une technique qui peut très sensiblement améliorer le rendement et la productivité des exploitations de transport, ainsi que l'efficacité de l'utilisation du spectre.

Les systèmes à satellites peuvent assurer une couverture mondiale, ce qui répondra aux besoins de tous les usagers, terrestres, maritimes et aéronautiques et ce qui pourra par conséquent avoir des incidences significatives sur l'économie du spectre. Toutefois, dans les zones urbaines, la qualité risque d'être dégradée en raison du blocage du signal. Pour surmonter ce problème, l'équipement mobile devra peut-être comprendre un dispositif de localisation à l'estime de manière à pouvoir assurer la poursuite en permanence. Dans un avenir proche, plusieurs systèmes autonomes à satellites seront disponibles; il conviendra d'entreprendre un complément d'étude sur les risques de brouillage mutuel entre ces systèmes ainsi que sur les risques de brouillage avec les autres services.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLANCHARD, W.-F. [1983] The continuing development of transit, IEE Conf. Publ. N° 222, Satellite systems for mobile communications and navigation.
- CORTLAND, L. et RILEY, B. [1986] Vehicle tracking system for Salem, Oregon Police Department, Proc. of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation, Californie, Etats-Unis.
- FUJAROS, R. [septembre 1976] State-of-the-art of mobile radio data systems for police users. Proc. of «Telimove» Automated Vehicle Monitoring Conference, Toronto, Ontario, Canada.
- HANSEN, G. R. [1977] AVM - Is there a system for your city, Carnaham Crime Counter Measures.
- HERNANDEZ, D. [1987] The Locstar radio - determination satellite system, Alta Freq. (Italie) Vol. 56, No. 10.
- HERRMAN, F. et ZIMMERMAN, W. [juin 1974] The radio control system of the City of Zurich Transportation Authority. Rev. Brown Boveri, Vol. 61, 270-274.

MEEK, R.L. et RUBIN, H.J. [1988] Cellular mobile telephone field measurement tools and techniques, 38th IEEE Vehicular Technology Conf.

ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE [1989] 35ème session du Sous-Comité de la sécurité de navigation.

STRATTON, A. [1987] Omega in the land environment, the Journal of Navigation Vol. 40, No. 3, Londres, Royaume-Uni.

STRATTON, A. [1988] Reducing the errors and extending the coverage of Differential Omega, Proc. of the 12th Annual Meeting of the International Omega Association, Honolulu, Virginie, Etats-Unis.

SYMES, D. J. [mars 1979] Advanced area-coverage automatic vehicle monitoring program. Proc. of the 29th IEEE Vehic. Tech. Conf., Illinois, Etats-Unis d'Amérique.

TOWAIJ, S.J. et LILLEMAR, A. [1983] The microcell land mobile radio system, 33rd IEEE Vehicular Technology Conf., Toronto, Canada.

WILSON, G. D. [juin 1977] The benefits of automatic vehicle location in the urban community. IEEE International Conference on Communications (ICC'77), Chicago, Illinois, Etats-Unis d'Amérique.

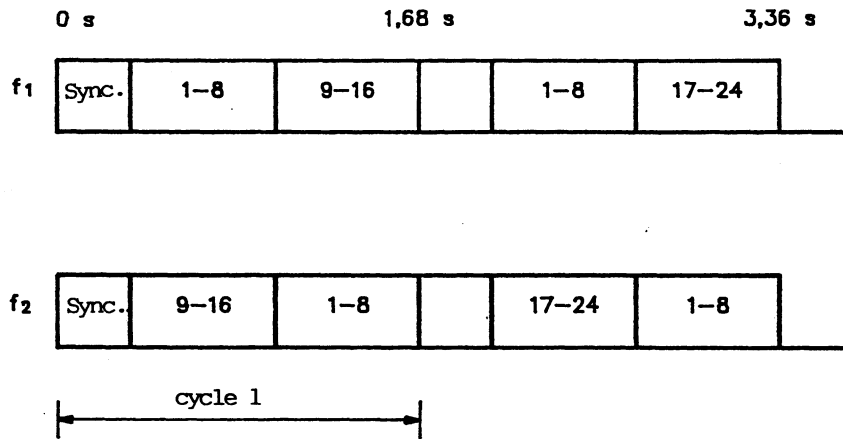
BIBLIOGRAPHIE

LAST, D. J. [1983] Radio spectrum requirements of monitoring and location systems for land vehicles, IEE Conf. Publ. N° 224, Radio spectrum conservation techniques.

ANNEXE I

Essais effectués sur le système LAV DATATRAK au Royaume-Uni

1. Datatrak, qui est un système hyperbolique à ondes kilométriques, est exploité depuis avril 1988. Le système actuel permet d'assurer la couverture du sud-est de l'Angleterre et des Midlands et devrait assurer la couverture de l'ensemble du Royaume-Uni au début de 1991.
2. Le réseau comprend de nombreuses stations de base à ondes décimétriques (pour les mobiles communiquant des informations aux stations de base), un centre de commande des véhicules et 16 à 20 émetteurs à ondes kilométriques multiplexés dans le temps et séparés les uns des autres par une distance d'environ 160 kilomètres. Chaque émetteur à ondes kilométriques comprend une antenne unipolaire de 50 mètres avec un terre-plein radial; la puissance apparente rayonnée est d'environ 50-100 watts.
 - 2.1 Les émetteurs fonctionnent tous sur la même paire de fréquences et le partage de temps se fait selon la technique de multiplexage par répartition dans le temps. Les fréquences de navigation sont 135 kHz (f1) et 145 kHz (f2); elles correspondent toutes deux à la désignation d'émission de l'UIT 1k00 PON. Le diagramme de temps de navigation est présenté à la Figure 1. Le schéma des intervalles de temps 1 à 8 se répète toutes les 1,68 s, alors que les intervalles de temps 9 à 24 se répètent deux fois moins souvent, c'est-à-dire toutes les 3,36 s. Les intervalles de temps les plus rapides sont attribués aux zones urbaines et les intervalles de temps les plus lents aux zones rurales.
3. L'équipement du véhicule comprend un dispositif de localisation, un clavier indicateur d'état et une antenne.
 - 3.1 Le processeur de navigation est l'unité centrale de traitement du dispositif de localisation du véhicule. Une fois que les lignes de position sont établies à partir des données de phase provenant des transmissions de navigation, la position d'un véhicule est convertie en coordonnées du carroyage national et les données relatives à son état sont rassemblées par l'intermédiaire du bus de données bidirectionnel relié au clavier. Les données relatives à la position et à l'état du véhicule sont formatées par un autre processeur avant d'être transmises sur la voie à ondes décimétriques (460 MHz) aux stations de base à un débit binaire de 3 600 bits par seconde.
 - 3.2 A chaque dispositif de localisation, on attribue un ou plusieurs intervalles de temps de 30 ms au cours d'un cycle de 30 minutes et il y a environ 54 000 intervalles disponibles. Les dispositifs de localisation et les stations de base sont synchronisés sur le même cycle de temps, de sorte que les différents véhicules peuvent être identifiés aux stations de base par la position de leur intervalle. Le format des données d'intervalles de temps du véhicule (30 ms), présenté à la Figure 2, commence par une bande de garde de 1 ms. La synchronisation est effectuée par le préambule suivant de 10 bits et le code "gold" de 16 bits. Les données relatives à l'état et la dernière position du véhicule sont aussi transmises pendant la durée de ce cycle.



1. Les numéros indiqués sont les numéros d'intervalles des émetteurs
2. Les numéros d'intervalles 1 à 8 se répètent toutes les 1,68 s sur chaque fréquence
3. Les numéros d'intervalles 9 à 24 se répètent toutes les 3,36 s sur chaque fréquence

FIGURE 1

Diagramme de temps - chaîne de navigation

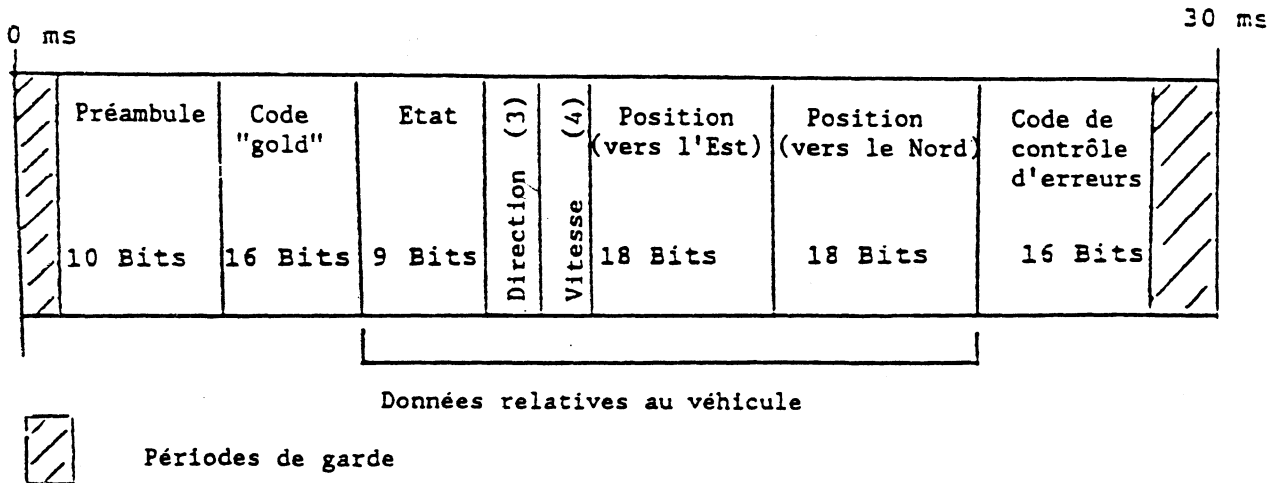


FIGURE 2

Format des données d'intervalles du véhicule



3.3 Le dispositif de localisation consomme 14 W et nécessite un courant continu de 12 V ou de 24 V. Il peut être alimenté par la batterie du véhicule au moyen du contacteur d'allumage, de sorte qu'il est branché automatiquement dès que le moteur démarre. Il contient un dispositif de temporisation intégré qui permet de continuer à contrôler la position du véhicule 20 minutes après l'arrêt du moteur.

3.4 L'indicateur d'état donne les coordonnées de la position actuelle du véhicule. La communication entre le véhicule et le centre de commande est établie par le clavier indicateur d'état qui active le dispositif de localisation pour transmettre jusqu'à 250 codes d'état définis par l'utilisateur. Il n'est pas possible d'envoyer des données dans le sens inverse.

3.5 Pour la réception en ondes kilométriques, le véhicule dispose d'une antenne unipolaire active. Avec un diplex, la réception des signaux de navigation en ondes kilométriques et la transmission de données en ondes décimétriques se fait à l'aide d'une antenne unique.

3.6 Grâce à cette technique de localisation des véhicules, le véhicule n'a pas besoin d'émettre pour obtenir sa position. Autrement dit, un nombre illimité de véhicules peuvent obtenir leur position à l'aide du système. Toutefois, pour la gestion et la commande d'un parc automobile, il faut transmettre des données au centre de commande, comme indiqué aux § 4 et 5 ci-dessous, ce qui oblige donc à limiter le nombre de véhicules utilisant un système donné. Le schéma du système est présenté à la Figure 3.

4. L'équipement du centre de commande des véhicules comprend un ordinateur, un écran de visualisation, un clavier ainsi qu'un modem commandé par microprocesseur pour coupler l'ordinateur au centre de rassemblement et de distribution des données.

4.1 Aux stations de base, les données des véhicules sont reformatées et associées à l'identité de l'intervalle de temps à la station de base. Elles sont ensuite transmises au centre de commande par le centre de rassemblement et de distribution des données. La transmission entre la station de base et le centre de commande se fait à l'aide de lignes téléphoniques louées.

4.2 Les transmissions de données sur la voie à ondes décimétriques sont reçues par plusieurs stations de base; cette technique redondante est utilisée pour veiller à ce que les données des véhicules soient reçues même si une station ne reçoit pas correctement le signal. Au centre de commande, les données sont triées et enregistrées par l'ordinateur du centre de données, toute donnée redondante étant ainsi supprimée.

4.3 Les positions, les identités et les déplacements des véhicules sont reportés sur une carte numérisée mise en mémoire dans le système d'affichage à haute résolution. Les zones présentant un intérêt particulier peuvent être affichées de façon plus détaillée grâce à un zoom.

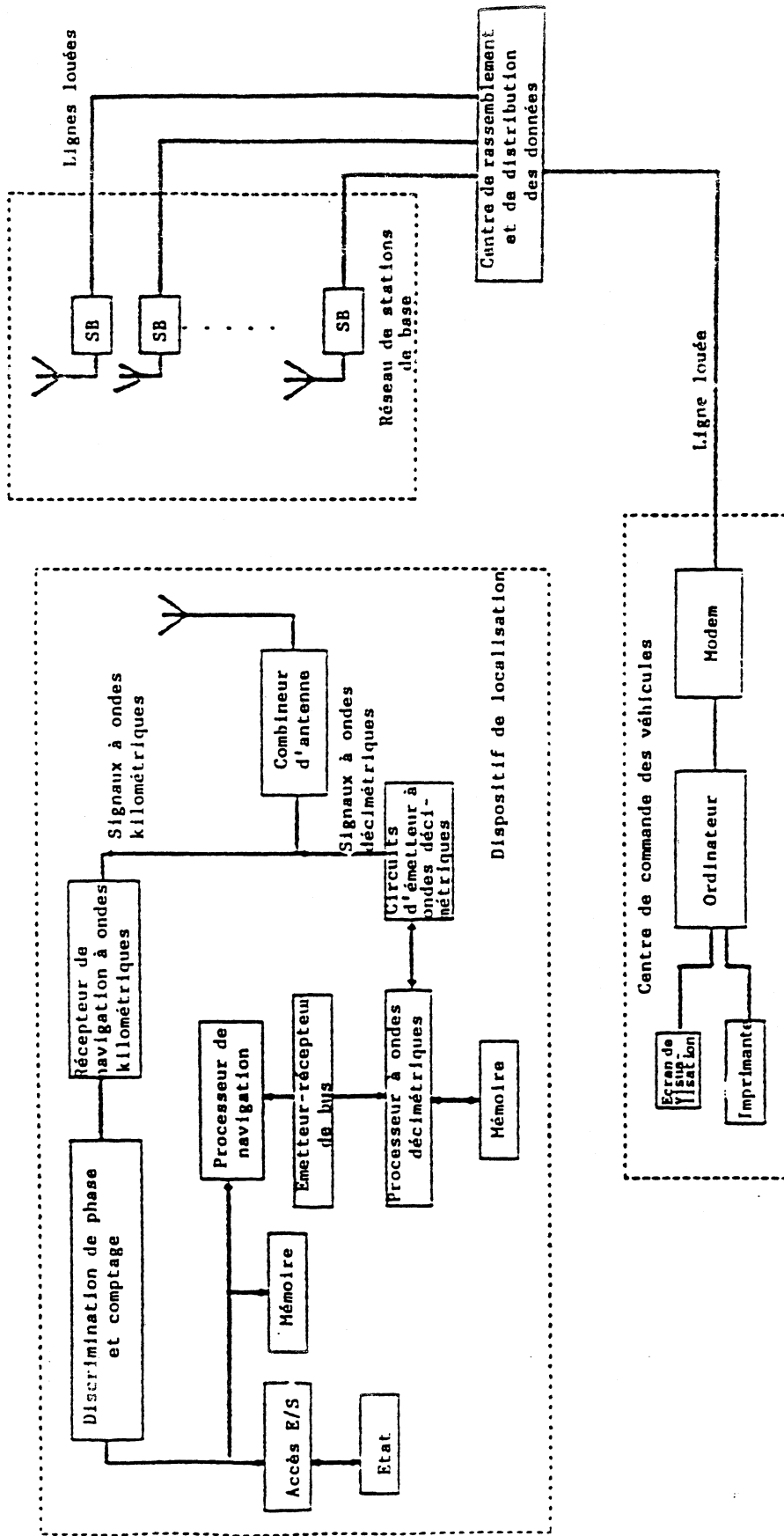


FIGURE 3
Système de localisation de véhicules

4.4 Outre l'affichage graphique, les informations de chaque véhicule sont affichées sous forme de tableau sur un écran de visualisation. Ces données indiquent l'identité du véhicule, ses coordonnées actuelles, ses déplacements, sa vitesse et l'heure de son dernier rapport.

4.5 Les intervalles d'alarme non attribués sont réservés pour la signalisation d'urgence. En pareil cas, l'identification du véhicule ainsi que son état et sa position actuelle sont transmis. Le système d'alarme peut se déclencher automatiquement (par exemple, en cas de collision du véhicule) ou être actionné par le conducteur. Le format des données d'intervalle d'alarme est présenté à la Figure 4.

5. Essais

5.1 Des essais dynamiques et statiques ont été effectués. Dans le premier cas, le véhicule était conduit normalement sur des voies publiques et sa progression a été observée par rapport à une carte numérisée au centre de contrôle. Dans le second cas, le véhicule stationnait dans un emplacement connu et les données concernant sa position ont été enregistrées de façon continue pendant une période de temps donnée.

5.2 La Figure 5 contient un exemple de données enregistrées par ordinateur obtenues à partir des essais dynamiques.

5.3 Pour les essais statiques, on a enregistré les données sur un véhicule en stationnement. La "position observée" a été évaluée à l'aide de cartes nationales; quant à la "position calculée par ordinateur", elle a été obtenue à partir des coordonnées hyperboliques enregistrées, converties en coordonnées du carroyage national. L'"erreur sur la position" est la distance entre la "position observée" et la "position calculée" vers l'Est et vers le Nord.

5.4 Les essais statiques ont été effectués à Richmond, un quartier résidentiel situé entre le centre de Londres et l'aéroport d'Heathrow. L'essai a été fait à environ 70 km de l'émetteur à ondes kilométriques le plus proche. Les résultats des essais ont montré que l'on obtenait pour une période de 24 heures un écart type de 9 mètres. Le cercle de position, à 95%, avait donc un rayon de 18 mètres.

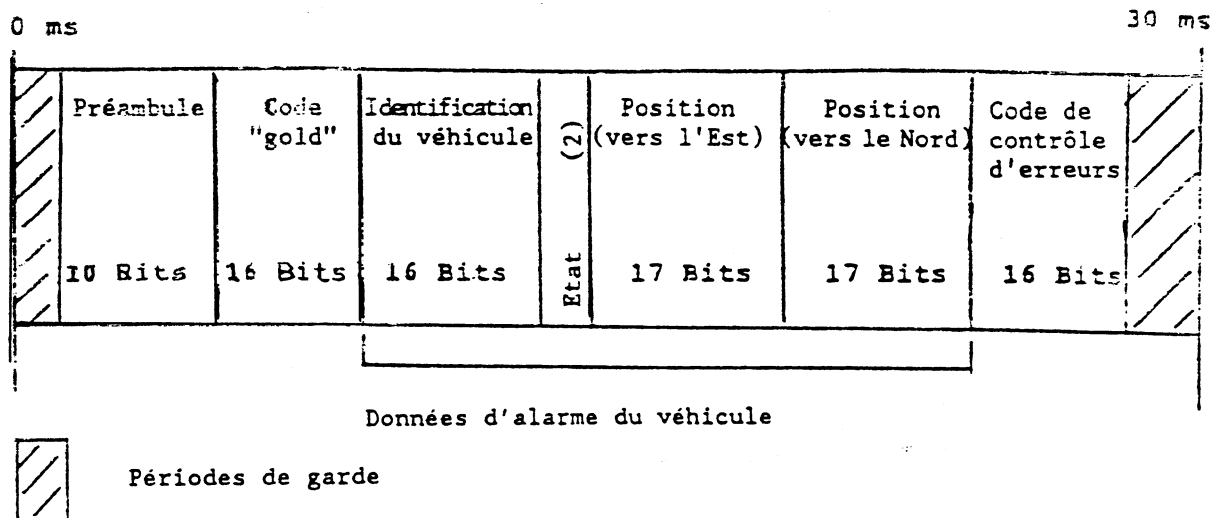


FIGURE 4

Format des données d'intervalles d'alarme

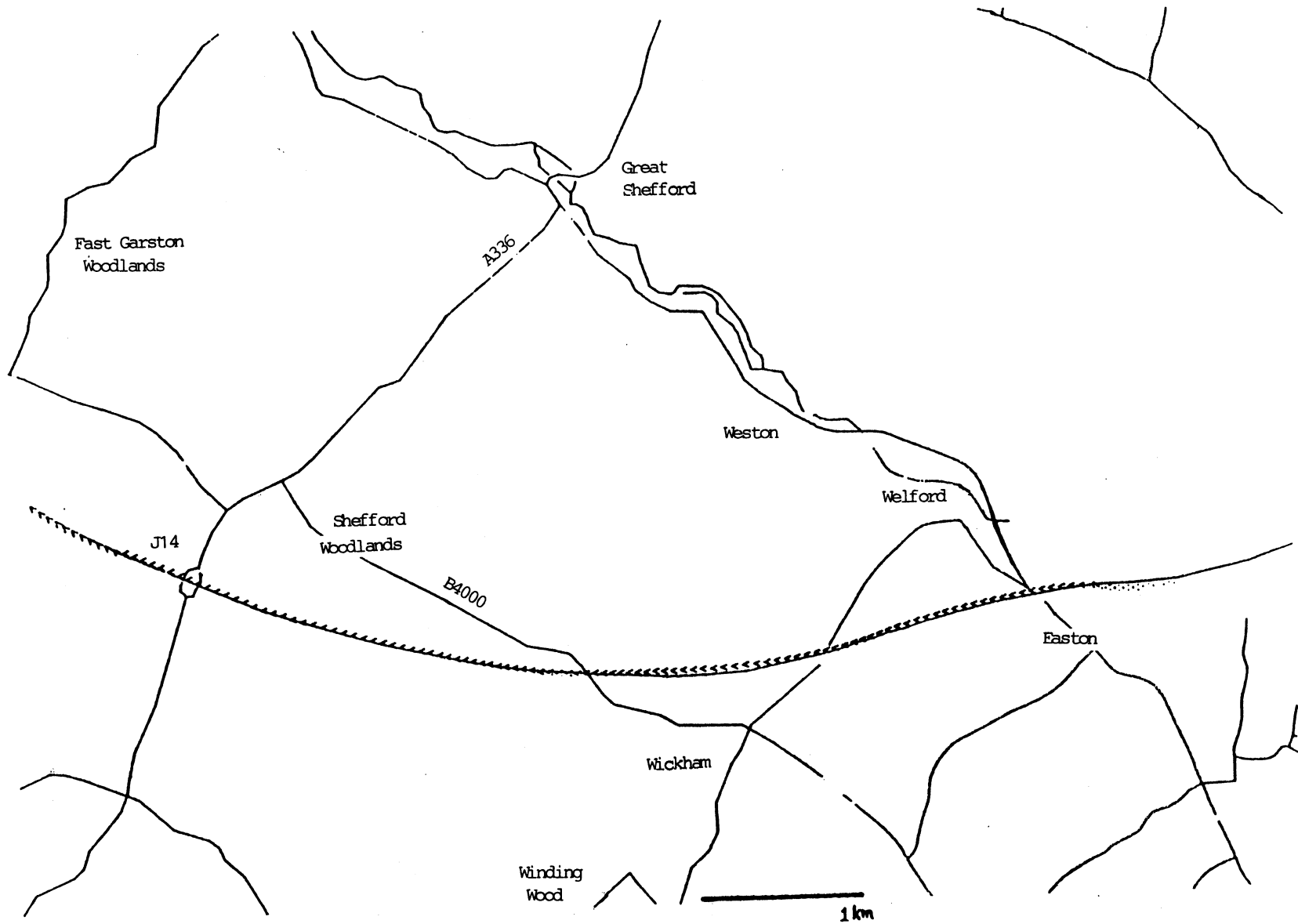


FIGURE 5

Résultats d'essais effectués avec un véhicule se déplaçant vers l'ouest sur l'autoroute M4 dans le West Berkshire

ANNEXE II

SYSTÈMES LAV AU JAPON

Depuis 1980, le Japon a introduit des systèmes LAV à localisation par proximité directe dans 7 villes et à localisation par proximité inverse dans 16 autres villes.

Dans la zone urbaine de Tokyo, un système LAV à proximité directe comportant 29 détecteurs est utilisé par 5400 taxis (octobre 1983). Pour l'utilisation des systèmes à proximité directe, le pays est divisé en carrés de 50 km de côté, chacun ayant un code de zone et un point de référence dans le coin nord-ouest. Un code de zone (à 2 chiffres) est attribué à chaque détecteur de même que des coordonnées x et y (2 codes de 3 chiffres) par rapport au point de référence.

Les détecteurs émettent à 426 MHz avec une puissance de 0,01 à 1 W en modulation de fréquence de sous-porteuse (1500 Hz, 1900 Hz MDF à 200 bit/s). Un signal de synchronisation de trame de 15 bits est suivi des codes de zone et de position dans lesquels chaque chiffre est codé DCB et complété d'un bit de parité.

BIBLIOGRAPHIE

MINE, Y. [avril 1977] Computerized location and status display system (CLSDS) 1979 CARNAHN Conference.

ANNEXE III

Le système LAV à étalement du spectre réalisé en Australie

1. Dans la zone métropolitaine de Sydney (Australie), un système de localisation automatique des véhicules, appelé QUIKTRAK, est opérationnel depuis la fin de 1987 [Hurst, G., 1989]. Ce système a été conçu pour assurer la couverture d'une région de 2 000 kilomètres carrés environ, avec une précision de l'ordre de 30 m. Il peut admettre de nombreux utilisateurs indépendants et plusieurs milliers de véhicules, avec une capacité de poursuite de 30 000 localisations par heure. On applique des techniques de multilatération de phase en spectre étalé pour assurer des repérages précis sur des véhicules en déplacement dans l'environnement à forte propagation par trajets multiples qui est celui des zones à urbanisation dense.

2. Le système QUIKTRAK se compose des éléments ci-après:

- des répondeurs à bord des véhicules,
- des récepteurs multivoies en spectre étalé sur sites décentralisés,
- des émetteurs de pilotage des répondeurs, implantés sur certains des sites de réception,
- un émetteur à référence chronométrique interne,
- un site de traitement central,
- les terminaux des utilisateurs.

2.1 Répondeurs

Le répondeur installé à bord du véhicule à localiser est composé d'un émetteur de faible puissance à étalement du spectre, et d'un récepteur à faible débit de courant qui capte les ordres du système et pilote l'émission à étalement de spectre. Le récepteur de commande reçoit et décode des données normalisées de radiomessagerie afin d'activer l'émetteur et de sélectionner la voie à spectre étalé. L'émetteur envoie un signal à spectre étalé en séquence directe, d'une puissance de 25 mW et d'une largeur de bande de 2 MHz dans le lobe principal (de zéro à zéro). A l'intérieur du système QUIKTRAK, les voies à spectre étalé sont déterminées et choisies selon leur fréquence porteuse, chacune étant légèrement décalée des autres dans la largeur de spectre du signal. Toutes les voies sont groupées à l'intérieur d'une bande passante pratiquement identique, de 2 MHz, située dans la bande d'ondes décimétriques attribuée à la radiolocalisation.

2.2 Récepteurs

Les sites de réception décentralisés sont répartis dans toute la zone de couverture du système, à environ 15 km les uns des autres. Chacun comporte un récepteur multivoies à spectre étalé ainsi qu'un ordinateur local. Ces récepteurs poursuivent et captent les signaux à spectre étalé puis mesurent la phase du code pseudo-aléatoire d'étalement par rapport à un signal de référence commun à tout le système. En plus du pilotage du fonctionnement sur le site, le ordinateur local renvoie à l'ordinateur central, par l'intermédiaire d'une ligne téléphonique, les données relatives au moment d'arrivée des signaux (phase du code) reçus de toutes les voies. Certains de ces sites comportent aussi un émetteur de signaux de pilotage des répondeurs.

2.3 Emetteurs de pilotage des répondeurs

Le pilotage des répondeurs se fait par application des techniques classiques d'appel unilatéral sans transmission de parole sur zones étendues. Les émetteurs de pilotage des répondeurs sont en conséquence composés d'émetteurs à diffusion simultanée de 25 W pour appel unilatéral. La signalisation de pilotage des répondeurs QUIKTRAK se fait dans la bande d'ondes décimétriques attribuée au service mobile terrestre.

2.4 Emetteur de la base de temps

La synchronisation du système est réalisée par l'envoi, à partir d'un site central, d'un signal spécial à spectre étalé qui est reçu et suivi par tous les sites décentralisés. Ce signal est de structure et de puissance similaires à celles du signal émis par les répondeurs, mais transmis dans une bande de 2 MHz distincte. En se verrouillant sur ce signal de faible puissance diffusé dans le système, tous les récepteurs décentralisés sont en mesure de se synchroniser à la nanoseconde près. Cela permet donc des comparaisons de haute précision quant aux temps d'arrivée des signaux reçus des répondeurs par les divers sites.

2.5 Site de traitement central

Tous les sites envoient au site de traitement central, par ligne téléphonique, leurs données de temps d'arrivée. L'ordinateur central traite toutes les informations disponibles pour calculer une estimation optimale des emplacements des répondeurs. En plus du calcul des positions, l'ordinateur central programme le déclenchement des répondeurs selon les demandes des utilisateurs et transmet les coordonnées spatiales des répondeurs jusqu'aux terminaux d'utilisateur concernés, par l'intermédiaire de lignes téléphoniques.

2.6 Terminaux d'utilisateur

Les terminaux des utilisateurs, situés dans les locaux de ces derniers, sont reliés à l'ordinateur central des lignes téléphoniques. Ils se présentent habituellement sous la forme d'un poste d'affichage des diagrammes de poursuite, constitué d'un ordinateur personnel muni du logiciel QUIKTRAK. Ce poste d'affichage accepte les ordres de l'opérateur pour les demandes de localisation de véhicule puis affiche les emplacements sur des cartes vidéographiques en couleur mémorisées par le poste d'affichage, qui dispose en mémoire de la série complète des cartes correspondant à la zone de couverture du système.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

HURST G. [septembre 1989] QUIKTRAK: A new AVL system developed in Australia. IREECON INTERNATIONAL MELBOURNE, 1989 Convention Digest.

ANNEXE IV

Systemes de guidage

1. Introduction

On reconnaît de plus en plus les avantages possibles que présentent les systèmes de guidage. Un grand nombre de systèmes de ce type ont été mis au point en Europe et en Amérique du Nord.

En Europe, un accord de collaboration a été conclu en vue du développement des systèmes électroniques destinés au trafic routier. La Commission européenne a dégagé des crédits pour lancer un exercice de planification appelé DRIVE (Infrastructure routière spécifique à la sécurité des véhicules en Europe). Ce programme [Commission des Communautés européennes, 1988] a pour objet de déterminer si la technique de l'information et des télécommunications pourrait apporter une contribution importante à l'amélioration de la sécurité routière. On cherche avant tout à ce que ce système soit disponible aussi largement que possible. Deux des principales études portent sur le guidage des véhicules et la communication.

En outre, PROMETHEUS (PRO-gramme pour une efficacité et une sécurité maximales de la circulation en Europe), est un programme lancé par l'industrie automobile européenne. L'un des programmes subsidiaires, Pro Road, envisage la création d'un équipement de communication et d'information le long des routes pour fournir à un ordinateur des données concernant un véhicule en vue de leur utilisation par des systèmes de gestion d'un niveau supérieur. Une tâche importante est la normalisation de la carte routière numérique de l'Europe.

2. Avantages

Les travaux effectués par les chercheurs britanniques sur la circulation routière [Belcher, 1989] ont montré qu'un système de guidage avec indication d'itinéraire permettrait d'économiser environ 10% des coûts d'un déplacement. Les durées moyennes de déplacement pourraient aussi être réduites d'environ 10%.

3. Types de systèmes de guidage

Les systèmes de guidage peuvent en général être classés en systèmes autonomes et systèmes sur infrastructure.

3.1 Systèmes autonomes

Le grand avantage des systèmes autonomes est qu'ils n'ont besoin d'aucune information externe de navigation et que, par conséquent, ils sont indépendants. Il existe deux types de système autonome - aides directionnelles simples et systèmes d'affichage de carte.

Les aides directionnelles simples sont essentiellement des systèmes de localisation à l'estime. Le processeur installé à bord du véhicule détermine le vecteur qui relie la position initiale et la destination. Les conducteurs ne reçoivent que des informations sur le cap et la distance mais l'itinéraire est fixé par le conducteur.

Les systèmes à affichage de carte indiquent au conducteur sa position sur une carte. Une base de données contenant les données cartographiques numérisées est nécessaire. Dans certains de ces systèmes, il existe un dispositif de recherche automatique d'itinéraire installé dans un ordinateur à bord du véhicule qui présente au conducteur le meilleur itinéraire de déplacement. Toutefois, ces recommandations risquent de ne pas proposer la solution optimale en raison des changements intervenus dans le réseau routier ou du fait que les conditions réelles de trafic n'ont pas été prises en compte pour le calcul de l'itinéraire. La réception d'informations à partir d'un système de diffusion de renseignements sur le trafic tels que le système RDS (Système de diffusion de données en radio) pourrait résoudre ce problème [Union européenne de radiodiffusion, 1984].

3.2 Système sur infrastructure

Dans un tel système, un grand nombre de détecteurs routiers sont installés à des emplacements stratégiques. L'information de guidage entre les détecteurs est fournie par des techniques d'estime. L'ordinateur installé à bord du véhicule mesure la durée de déplacement entre les détecteurs et ces renseignements sont transmis à une salle de commande centrale par des détecteurs de communication bidirectionnelle qui présentent les caractéristiques combinées des détecteurs actifs et des détecteurs passifs. Ces informations, associées aux conditions de trafic telles que les conséquences des accidents et les variations journalières de trafic sont prises en considération par un ordinateur central qui détermine ensuite pour chaque utilisateur le meilleur itinéraire possible pour se rendre à la destination choisie. Les données sur l'itinéraire recommandé sont transmises au conducteur par le réseau de détecteurs.

Les informations de guidage et le point sur la circulation sont fournis par ce système, mais ils ne sont valables que dans la zone de couverture du réseau d'infrastructure.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BELCHER, P.L. and CATLING, I. [1989] Autoguide - Electronic route guidance for London and the UK, Second International Conf. on Road Traffic Monitoring, Conf. Pub NO. 299.

Commission des Communautés européennes [1988] **Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe Workplan, DRI 100.**

UNION EUROPEENNE DE RADIODIFFUSION [1984] Spécifications du système RDS pour la diffusion de données en radio à modulation de fréquence, Tech. 3244-F, Centre technique de Bruxelles.
