

1. Introduction

Le développement croissant des télécommunications mobiles les fait intégrer dans des applications aussi diversifiées qu'utiles et courantes, de domotique [1][2], d'applications industrielles pour la manipulation et la surveillance à distance de systèmes complexes mais aussi dans des systèmes de sécurité, de défense et de protection des biens et personnes. Dans ce dernier cas, nous nous sommes intéressés aux systèmes d'antivol de voiture télécommandables et localisables à distance par technologie GSM dans un premier temps et GPS, par la suite. Cet intérêt se justifie davantage par la recrudescence des vols et braquages de voiture au Bénin à laquelle nous avons pour ambition, d'apporter une solution.

Cet article présente la conception d'un prototype d'antivol de voiture qui intègre des fonctions de télécommande basée sur le réseau GSM [3] et de géolocalisation exploitant tant le réseau GSM que le GPS mais avec la particularité d'offrir un mode de fonctionnement autonome. Nous signifions par là, qu'aucune restriction n'est faite à l'utilisateur final quant au contrôle du système depuis les commandes rencontrées dans de tels modules (blocage, démarrage, sirène...à distance), jusqu'à la fonction de localisation, contrairement aux systèmes analogues où cette dernière est centralisée au niveau d'un opérateur. Cette contrainte induit l'intégration de la quasi-totalité des applications de traitement des informations des capteurs, dans la base embarquée sur le véhicule protégé. Cette centralisation de toutes les fonctions au sein du prototype requiert, en outre, un mode de fonctionnement interactif pour maintenir avec l'utilisateur la communication en « temps réel », pour une éventuelle prise en main à distance lors des tâches d'exceptions ou des commandes personnalisées.

La présentation des moyens qu'offrent les réseaux GSM et GPS pour la télécommande et la localisation permet d'en évaluer leurs performances et leurs caractéristiques utiles dans la réalisation du système de même que d'en cerner les limitations.

2. Fonctionnement général du système

Le prototype fonctionne en antivol périmétrique (détection d'ouverture et effractions) et aide à l'immobilisation de la voiture en cas de braquage. Dans sa configuration par défaut, il s'active automatiquement à la mise à l'arrêt de la voiture avec la clé contact. Toute utilisation (libre) du véhicule est alors conditionnée par la désactivation de la protection (par appel authentifié GSM mais non taxé) à défaut de laquelle la coupure du moteur est réalisée, accompagnée d'alertes visuelle et sonore et du verrouillage centralisé des portes. Un module GSM intégré permet au système d'être télécommandé sur toute l'étendue de couverture du réseau utilisé. Une authentification

basée sur le contenu des commandes (17 au total) est systématiquement réalisée pour garantir la sécurité d'une part et permettre d'autre part l'utilisation de n'importe quel téléphone pour peu qu'il soit enregistré sur le même réseau. Les fonctions télécommandées sont : allumage/extinction des feux de détresse, verrouillage/déverrouillage des portes, déclenchement/extinction de la sirène d'alarme, blocage/déblocage du démarrage, localisation géographique, désactivation/activation de tout le dispositif d'antivol. Les SMS émis par le système vers l'utilisateur (ou/et vers tout numéro spécifié par ce dernier) sont quant à eux destinés à notifier toute détection ou anomalie ou confirmer la prise en compte des commandes.

Une fonction de géolocalisation par réseau GSM et GPS est intégrée afin que le propriétaire puisse connaître la position de sa voiture par SMS et suivre sa trajectoire globale, à n'importe quel moment pourvu que la disponibilité du réseau GSM et des satellites GPS ne fasse pas défaut.

Le système intègre par ailleurs une mémoire de sauvegarde d'état en carte de perte d'alimentation et prévoit un clavier pour son activation/désactivation en cas de mauvaise qualité ou d'absence de couverture du réseau GSM

3. La télécommande

3.1. Analyse et choix du moyen de télécommande

Les supports de commande qui sont généralement utilisés à travers les réseaux de télécommunication sont multiples : SMS (Short Message Service), DTMF (Dual Tone Multiple Frequency), reconnaissance vocale [4] etc. Le choix auquel nous avons procédé est fondé sur trois critères majeurs : *souplesse de mise en œuvre et d'utilisation, taux de fiabilité d'exécution des commandes et enfin coût d'utilisation conformément aux tarifs des opérateurs GSM au Bénin.*

La mise en œuvre d'une télécommande basée sur la reconnaissance vocale passerait par l'intégration de DSP et des circuits de traitement de signal très sophistiqués. Mais le codage et le traitement de la voix pour l'acheminer dans le réseau GSM ne font pas de cette technique une solution utilisable en raison de la « dénaturation » de l'empreinte vocale des personnes.

Les signaux DTMF offrent l'avantage d'être universels et exploitables sur tout réseau d'un opérateur. Mais le nombre de commandes (17) utilisables avec notre système ôte toute ergonomie au fonctionnement car l'utilisateur final ne se retrouverait plus parmi toutes les combinaisons de chiffres à mémoriser. Les DTMF ne peuvent par ailleurs qu'être utilisés en mode communication (décroché). Le coût final d'utilisation serait alors tributaire de la taxation du réseau exploité qui est encore relativement élevé au Bénin. L'envoi des SMS a, par contre, si bien intégré les habitudes des abonnés des

réseaux qu'il est le moyen le plus souple d'utilisation, même si leur usage pour le système à concevoir, implique l'utilisation d'un même opérateur GSM tant pour la base embarquée dans la voiture que pour le propriétaire. Le coût de mise en œuvre d'une télécommande basée sur l'utilisation des SMS est en outre moindre par rapport à tous les autres moyens en raison de la relative simplicité du traitement qui est alors beaucoup plus logiciel que matériel. Les SMS nous sont en outre indispensables pour faire « dialoguer » le système et son propriétaire par l'échange d'informations et requêtes d'états et de fonctionnement de l'antivol et des capteurs.

3.2. La mise en œuvre de la télécommande et de la communication par SMS

La lecture, l'interprétation et l'envoi de SMS par le système sont simplifiés par l'utilisation des commandes « AT » de la norme GSM 07.05 [5][6] de l'ETSI (European Telecommunication Standards Institute). La communication entre le microcontrôleur et le terminal GSM intégré au système, est réalisée à travers une liaison série asynchrone RS232 [6][7]. La commande `AT+CNMI=1,1` configure le module GSM pour une indication systématique au microcontrôleur de l'arrivée d'un nouveau SMS par la trame de réponse `<CR><LF>+CMTI : <mem>, <index><CR><LF>`. Le SMS est « lu » grâce à la commande `AT+CMGR=<index><CR>`, à laquelle le terminal répond par : `<CR><LF>+CMGR : "REC READ", "numéro émetteur", "AA /MM/JJ, hh:mm:ss±zz" <CR><LF>corps du message <CR> <LF> <CR> <LF>OK<CR><LF>`. (zz =fuseau horaire). Il nous revient d'extraire de toute la trame reçue, les informations utiles au programme. L'identification de l'instruction reçue par SMS procède d'un test de correspondance des caractères du message. Pour l'envoi un SMS, le texte est transmis avec la commande `AT+CMGS=< "numéro destinataire"><CR> corps du message`. L'envoi est effectué avec la combinaison CTRL-Z. Un SMS correctement envoyé est suivi de la réponse : `<CR><LF>+CMGS : <ind><CR><LF>OK<CR><LF>` où `ind` est l'index dans la mémoire d'envoi, du message. En cas d'échec de l'envoi d'un SMS, `<CR><LF>+CMS: ERROR<CR><LF>` est retournée.

4. Analyse et choix des techniques de la géolocalisation

La possibilité de télécommander à plusieurs milliers de mètres les fonctions du système d'antivol pose un problème logique : comment retrouver par exemple la voiture qu'on a immobilisée à 400 km de soi? Nous avons eu initialement pour objectif d'exploiter la localisation par GSM en l'optimisant au mieux pour une performance remarquable tout en décentralisant l'administration globale de la localisation au niveau individuel. Nous avons alors été confrontés au choix de la technique idéale pour rendre

indépendant le système d'un centre externe de traitement. Le réseau GSM nous a offert trois familles de localisation :

– *l'identification de cellule " CELL-ID "* : la plus simple à mettre en œuvre de tous mais dont la précision varie inversement avec la taille des cellules GSM [8]. – *le timing advanced (TA)* : qui complète le plus souvent le Cell-ID où le paramètre TA permet de situer le mobile dans des cercles concentriques autour de la BTS (Base Transceiver Station) [8]. Cependant ce paramètre est très peu accessible sur les terminaux GSM sans un interfaçage généralement avec un micro-ordinateur. Nous n'avions eu la possibilité d'y accéder au cours de nos essais, qu'avec le TC35 de Siemens [6]. – *la triangulation par mesure de temps de propagation –TOA (Time of Arrival et TDOA Time Difference of Arrival- et d'angle –AOA (Angle of Arrival)* : L'utilisation des méthodes de triangulation est impossible dans un système embarqué à capacité de traitement limité car de nombreux paramètres dont de nombreuses variables, ne sont accessibles qu'au sein du réseau et non pas sur les terminaux. Elles nécessitent par ailleurs la puissance de traitement d'un PC plutôt que de celui d'un microcontrôleur notamment celui utilisé, fut-il très performant [8]. Les modèles empiriques de Walfish-Ikegami [9] et de Hata-Okumura [10] exploitent des paramètres que nous aurions pu traiter avec un microcontrôleur pour améliorer la précision du Cell-ID mais aucun réseau GSM béninois ne remplit au moins à 40% les conditions d'utilisation des formules. Aussi la méthode de diagrammes de Latapy était-elle trop complexe à gérer avec un réseau étendu ce qui entacherait l'évolutivité du système proposé.

Nous nous sommes donc focalisés sur la technique de localisation par cell-ID. La difficulté notoire qu'elle présente et qu'il nous a fallu résoudre est la confusion qu'elle engendre par rapport à la vraie cellule de localisation du terminal embarqué en raison des phénomènes de propagation des signaux (dispersion, diffraction, diffusion...) qui occasionnent des "hand-over" intra et intercellulaires fréquents.

4.1. Méthodologie mise en œuvre pour améliorer la précision de la localisation par cell-ID

Notre approche pour résoudre cette difficulté et améliorer sensiblement la localisation par cell-ID est basée sur le principe évident : « si le terminal embarqué effectue n hand-over distincts dans un intervalle de temps Δt , il se situe forcément à l'intersection des espaces géographiques correspondant à la couverture de toutes les BTS impliquées ». Il nous a fallu traduire cette hypothèse en un programme qui détermine automatiquement cette intersection pour cinq (5) cell-ID systématiquement stockés en mémoire programme et actualisés au gré des hand-over, sachant qu'un cell-ID n'est inscrit dans la mémoire que s'il ne compte pas parmi les cinq initiaux. Le choix du nombre de cell-ID est empirique et est basé sur le fait que plus il y a de cell-ID, plus la localisation se précise. Nous avons alors défini des plages mémoires non réinscriptibles de 32 bits pour chaque cell-ID. Chaque bit d'une plage correspond à une

région de superficie restreinte (généralement un quartier). Tous les BTS ayant des champs géographiques communs présentent au même poids de bit, la valeur « 1 » et aux autres, la valeur « 0 ». Ainsi pour les cinq cell-ID, l'opération logique « AND » annule toutes les régions non communes. Il ne reste de cette opération qu'un double mot (32bits) dont des bits très limités se trouvent à « 1 » (5 bits au pire des cas). Le véhicule se situe assurément dans les régions trouvées.

4.2. Observations et analyses

Le principe mis en œuvre pour améliorer la précision de la localisation par cell-ID a été soumis à des tests grandeur réelle dans l'agglomération urbaine de Cotonou (Bénin) et s'est révélé concluant. Au terme de toute la procédure de regroupement intercellulaire, nous avons ainsi pu optimiser la précision à 80% même si le rayon de localisation reste relativement important. La localisation GSM ainsi mise en œuvre permet à l'utilisateur d'interroger le système par SMS et de recevoir sur son portable un SMS comportant les zones probables de localisation de sa voiture. La localisation par GSM est valable sur toute l'étendue du réseau de l'opérateur telecel soit une couverture presque intégrale du territoire du Bénin. Cette application est transposable donc utilisable sur n'importe quel réseau d'un opérateur GSM. Ce type de localisation n'est toutefois utile que pour suivre la trajectoire globale de la voiture. La précision varie en effet inversement avec les dimensions de la cellule. A Cotonou, le rayon des cellules du réseau de l'opérateur telecel Bénin utilisé pour l'expérimentation varie entre cinq cents (500) mètres et trois (3) kilomètres. Pour un tracking du véhicule, seul le système GPS reste de vigueur et le plus fiable pour un rayon de 25 à 100 mètres de précision.

Aussi avons-nous intégré en option, un module GPS qui recueille les coordonnées géographiques de la voiture et l'envoie par SMS au propriétaire, sur requête. Pour rester conforme à l'objectif initial de réalisation du projet qui est de donner à l'utilisateur le contrôle total du système, nous avons écrit un programme fonctionnant sur ordinateur MS Windows (limité à la ville de Cotonou) qui affiche le lieu correspondant aux coordonnées reçues sur son téléphone portable. Le dit programme devra faire l'objet d'une conception plus élaborée car il reste encore très basique et d'une résolution très faible pour les moindres détails. Des tests réalisés avec les coordonnées géographiques des sites de l'opérateur telecel ainsi que des mesures avec un récepteur GPS portatif ont conclu toutefois la précision du code en Visual Basic.

5. Le système électronique

L'équipement électronique est décomposé en six modules à savoir :

– *la carte d'acquisition des entrées*: Elle sert d'interface entre l'électronique du module de gestion et l'environnement externe que constituent le circuit électrique de la voiture

et les capteurs utilisés. – *la carte de gestion*: Elle assure la gestion et la coordination des différentes tâches réalisées par les autres modules. Le coeur est un microprocesseur qui réalise les fonctions essentielles du montage c'est-à-dire l'acquisition des entrées, la gestion des communications à travers le réseau GSM, le traitement des données et la mise à jour des sorties. Nous avons choisi le PICBASIC PBM-R1 du fabricant Comfile. – *la carte de commande*: à relais, est l'intermédiaire grâce auquel les ordres sont traduits en actions physiques au niveau des équipements qui sont réellement commandés. – *le module GSM*: donne l'accès au réseau d'un opérateur GSM pour les communications entre le prototype et l'utilisateur. Il fournit également à la carte de gestion, des informations nécessaires à la localisation de la voiture. – *le récepteur GPS*: recueille les informations nécessaires au positionnement géographique de la voiture. Il est connecté au module de gestion par une liaison RS232.

Les cinq modules ci-dessus cités composent la base embarquée dans la voiture.

Le module de télécommande: est le téléphone GSM habituel de l'utilisateur ou tout autre téléphone utilisant une carte SIM du même réseau.

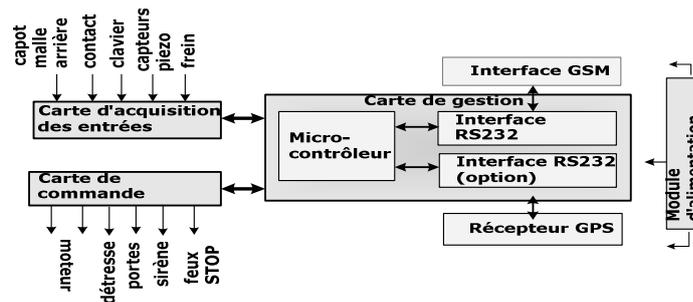


Figure 1. Synoptique de la base

6. Conclusion et perspectives

L'utilisation du réseau de transmission GSM pour l'exécution à distance d'actions plus ou moins complexes telles que la manipulation d'équipements électriques et mécaniques est une voie prometteuse à explorer pour les systèmes modernes de surveillance et de sécurité voire également de domotique. L'exploitation faite des réseaux GSM et GPS dans la conception du présent antivol nous a permis de rendre plus autonome le système d'antivol et ainsi, de l'adapter aux contraintes et réalités socio-économiques locales qui ne cadrent pas forcément avec le développement technologique et économique des pays occidentaux qui sont de véritables sociétés de consommation. Notre travail a essentiellement consisté à optimiser des moyens à la rigueur simplistes

voire peu fiables (utilisation de SMS et notamment du principe de la localisation par Cell-ID) pour en faire de véritables outils de lutte contre la recrudescence des braquages et vols de voitures au Bénin en décuplant les moyens et le champ d'action des utilisateurs. Il est à noter que le fonctionnement du système reste tributaire de la qualité et des performances des réseaux GSM quant aux communications entre la base embarquée et les utilisateurs finaux. Aussi nos travaux pour améliorer la localisation par Cell-ID ont-ils été concluants mais demeurent impropres pour des applications exigeant une grande précision de localisation comme notamment le tracking. Il nous est apparu évident qu'à la date actuelle, seul le GPS reste le système le plus fiable pour une localisation d'une grande précision. Mais le souci de ne pas faire dépendre l'utilisation d'une partie des fonctionnalités du prototype d'une tierce structure ou opérateur nous a motivé à l'écriture d'une application qui permet à chacun d'opérer sa localisation. Le logiciel devra être élaboré avec un plus grand soin pour une résolution optimale. En effet, la cartographie exploitée est une image JPEG qui n'offre pas un rendu optimal pour des détails précis. Un traitement avec une image vectorielle serait indiqué pour un résultat plus fiable.

7. Bibliographie

- [1] Une télécommande pilotée par portable GSM, *Electronique et Loisirs Magazine*, n° 7 pp 30-35.
- [2] Brice GBAFFONOU, "Etude et réalisation d'un système d'appel d'urgence, de signalisation vocale et de télécommande par voie téléphonique", mémoire CPU/UAC, 2001.
- [3] Un antivol auto avec GSM et GPS, *Electronique et Loisirs Magazine*, n° 26 pp 8-19.
- [4] X. LAGRANGE, P. GODLEWSKI, S. TABBANE, *Réseaux GSM-DCS*, Hermès, Paris, 1995.
- [5] http://webapp.etsi.org/action%5CPU/20050118/ts_127005v060001p.pdf. Accédé le 28-04-2005 pour télécharger la documentation des commandes AT de la norme GSM 07.05.
- [6] David REY, *Interfaces GSM, Montages pour téléphones portables*, Dunod, Paris 1995
- [7] *Basic Single Board Computer PICBASIC 2000 Manuel de référence*, Comfile Technology.
- [8] Positioning of a cellular phone using the SIM, Oskar Mattsson, Stockholm, 2001, http://www.imit.kth.se/~matsbror/_msc_theses/oskar_thesis_report.pdf (Accédé le 27-04-2005).
- [9] COST231 Walfisch-Ikegami Propagation Model, http://www.awe-communications.com/Propagation/wal_ike/walike.htm (Accédé le 28-04-2005).
- [10] Propagation Model of Hata-Okumura, http://www.awe-communications.com/Propagation/hata_oku/hatoku.htm. (Accédé le 28-04-2005).