

Conception d'un robot mobile télécommandé via Internet et Réseau local

1.0 Introduction

Depuis plusieurs décennies, le robot mobile suscite beaucoup d'intérêts et trouve son emploi dans diverses disciplines ou activités de la vie moderne (robots industriels, robots destinés à l'exploration de l'univers, robots policiers, etc.). Il pose, par contre, plusieurs problèmes et soulève divers défis relatifs à l'autonomie du déplacement dans un environnement non prédéfini ou changeant et à l'exécution de tâches spécifiques demandées. À présent, il est possible de classer le besoin de l'homme pour les robots en deux catégories:

- **Besoin de substitution:** Le robot doit se substituer totalement à l'homme dans l'exécution d'une tâche. Le rôle de l'homme se limite donc à ordonner le départ de l'exécution de la tâche. Ces types de robots sont utilisés principalement pour la production (robots industriels).
- **Besoin de coopération:** L'aide du robot permet à l'homme d'exécuter des tâches impossibles ou dangereuses à mains nues, comme par exemple la maintenance d'appareils placés dans des environnements hostiles (radioactifs ou chimiquement contaminés) ou l'exploration et l'étude de lieux inaccessibles (inspection de canalisations souterraines, l'exploration des planètes etc.).

De plus, la conception d'un robot mobile est de nature multidisciplinaire et nécessite, souvent, beaucoup d'imagination et de créativité. Cette nature multidisciplinaire s'observe dans l'exploitation de l'électronique, l'électronique de puissance, l'instrumentation et l'acquisition des données, les moteurs et la conversion de l'énergie, la commande en temps réel, l'acquisition et la transmission d'images et du son, la programmation, les télécommunications sans oublier la conception mécanique du châssis et de ses composantes. L'utilisation de la conception d'un robot mobile dans la formation des nouveaux ingénieurs s'avèrent donc très enrichissante et apporte beaucoup dans les laboratoires d'enseignement. Elle permet d'exploiter au maximum les diverses connaissances acquises par l'étudiant et facilite la compréhension approfondie des notions théoriques et pratiques. La conception d'un robot dans le cadre de la formation nécessite par contre, la complicité et l'organisation des membres d'un même groupe pour pouvoir atteindre les objectifs fixés. La gestion de projets s'impose et doit être révisée tout le long de la réalisation.

2.0 Cahier des charges

Le cahier des charges établi pour assurer la conception du robot envisagé et les plus importantes étapes de conception de ses différentes parties sont présentés comme suit:

- La conception d'un support mobile qui permettra au robot de se déplacer sur un plan horizontal.
- La conception d'un système d'acquisition des données tels que l'image vidéo, l'audio, les signaux analogiques et numériques.
- La conception d'un système d'émission et de réception de données par un réseau local ou via Internet.
- La conception d'une interface graphique facilitant la commande du robot.
- L'assemblage des différentes parties afin d'obtenir un système global entièrement fonctionnel.

Il faut signaler que le poids du robot, les caractéristiques de son déplacement, la communication avec le robot à distance et l'autonomie énergétique sont les principales contraintes de ce projet. Par ailleurs, le prototype réalisé sera une base pour des travaux futurs qui seront destinés à l'amélioration des performances du robot et de la fonctionnalité de ses diverses parties.

par D. Zanetti, R. Zambelli, M. Ghribi, O. Johnsen, et A. Kad-douri

Université de Moncton, Moncton, NB

Abstract

In this paper, the design and the realization of a mobile robot controlled via Internet and local network are presented. The specifications used for this realization and the various modules necessary to the good working of the mobile robot are presented and detailed. Some tests have been successfully completed locally in Moncton and via Internet directly from Fribourg in Switzerland. The recommendations for the complete system improvement will be given at the end of the paper.

Sommaire

L'article est destiné à la conception et la réalisation d'un robot mobile commandé via Internet et réseau local. La description du cahier des charges utilisées pour cette réalisation et les divers modules nécessaires au bon fonctionnement est présentée. Des tests ont été complétés avec succès localement à Moncton et à distance à partir de Fribourg en Suisse. Les conclusions et les recommandations seront données pour l'amélioration du système.

3.0 Modélisation de l'environnement

La figure 1 montre les entités présentes dans l'environnement du robot. Le robot prend le nom de *M.R.R.C-1.0* (*Mobile Robot with Remote Control version 1.0*) mais, en considération de sa forme finale, le robot sera appelé plus simplement *Nessie*. L'utilisateur, par l'intermédiaire du *Client*, décide comment *Nessie* doit se déplacer, tout en ayant la possibilité

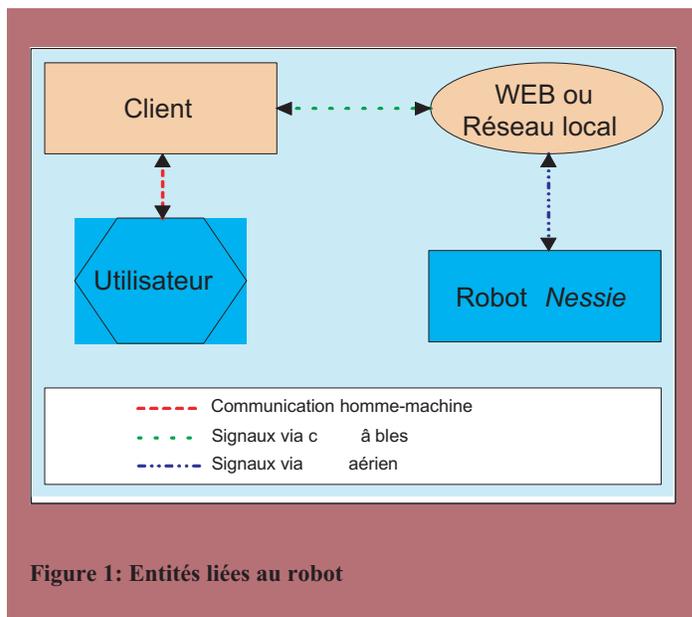


Figure 1: Entités liées au robot

de recevoir des informations sur son état. Le *Client* est la liaison entre l'utilisateur et *Nessie*. Il présente deux tâches fondamentales: la gestion de la communication depuis et vers le robot ainsi que la gestion d'une interface permettant à l'utilisateur de commander *Nessie* de façon optimale. L'interface est du type visuel (GUI) et elle présente les caractéristiques suivantes:

- L'affichage des images vidéo et la reproduction du son capté par le robot,
- La prise en charge des commandes données par l'utilisateur,
- L'affichage des différentes caractéristiques dynamiques du robot.

Le robot, *Nessie*, est capable de:

- Recevoir et interpréter les commandes envoyées par l'utilisateur,
- Se déplacer sur un plan horizontal selon les commandes reçues,
- Acquérir des informations (audio, vidéo et présence d'objets) sur l'environnement dans lequel il est placé,
- Envoyer les informations acquises et ses caractéristiques dynamiques (sa vitesse) au *Client*.

Le mouvement de *Nessie* est contrôlé par l'utilisateur, cependant dans certains cas il peut influencer son propre mouvement:

- S'il détecte un objet sur son chemin, il modifiera sa trajectoire de façon à éviter la collision,
- Lorsqu'il se déplace en ligne droite, il contrôlera le bloc moteur afin de maintenir la même trajectoire.

4.0 Conception et choix des composants du robot

La figure 2 illustre la structure du système électrique et électronique du robot. On peut distinguer:

4.1 L'ordinateur embarqué (choix et spécifications)

Les deux principales options envisageables pour répondre aux besoins du robot *Nessie* sont l'utilisation d'un microcontrôleur ou d'un ordinateur embarqué (*OE*). Afin de choisir l'option qui puisse le mieux

s'adapter à notre application il faut considérer les tâches que le robot devrait exécuter:

- Gestion du multimédia (images vidéo et son),
- Gestion de plusieurs canaux d'entrées et de sorties,
- Gestion des algorithmes de contrôle des autres blocs,
- Gestion du protocole *UDP/IP*.

Un exemple d'application pour le robot *Nessie* pourrait être l'implémentation de la vision artificielle, comme la reconnaissance d'objets ou de visages.

Un microcontrôleur peut bien répondre aux besoins de gestion des canaux d'entrée et de sortie, des algorithmes de contrôle et du protocole *UDP/IP*. Cependant, il aura sûrement des problèmes lors de la gestion du multimédia et de l'implémentation de la vision artificielle. L'utilisation d'un microcontrôleur ne satisfait donc pas les besoins de notre application qui se veut être élargie et diversifiée.

L'architecture d'un *OE* est très semblable à celle d'un ordinateur de bureau (*OB*). Les différences entre les deux sont surtout:

- Les différents formats des *bus* de connexion: Pour les *OE* on parle de *PC104*, *PC104+* et *CompactPCI*, pour les *OB* de *PCI* et *ISA*,
- Les dimensions: les *OE* sont très compacts et ils présentent sur la même carte tous les composants de base d'un *OB*,
- Le coût: à parité de prestation un *OE* coûte beaucoup plus cher qu'un *OB*.

Après ces considérations on a choisit d'utiliser un *OB* comme un *OE*, c'est à dire que notre *OE* sera composé d'une classique carte mère mais de petit format.

Le modèle choisi est de marque *MK20N* de *Shuttle* qui a pour caractéristiques:

- Format *MicroATX* (très compact, grandeur de la plaque 244 mm x 200 mm),
- Cartes vidéo et de son et prise réseau intégrées,
- Un port sériel, un port parallèle et deux ports *USB* (avec possibilité d'expansion),
- Un *bus ISA* et 3 *PCI*.

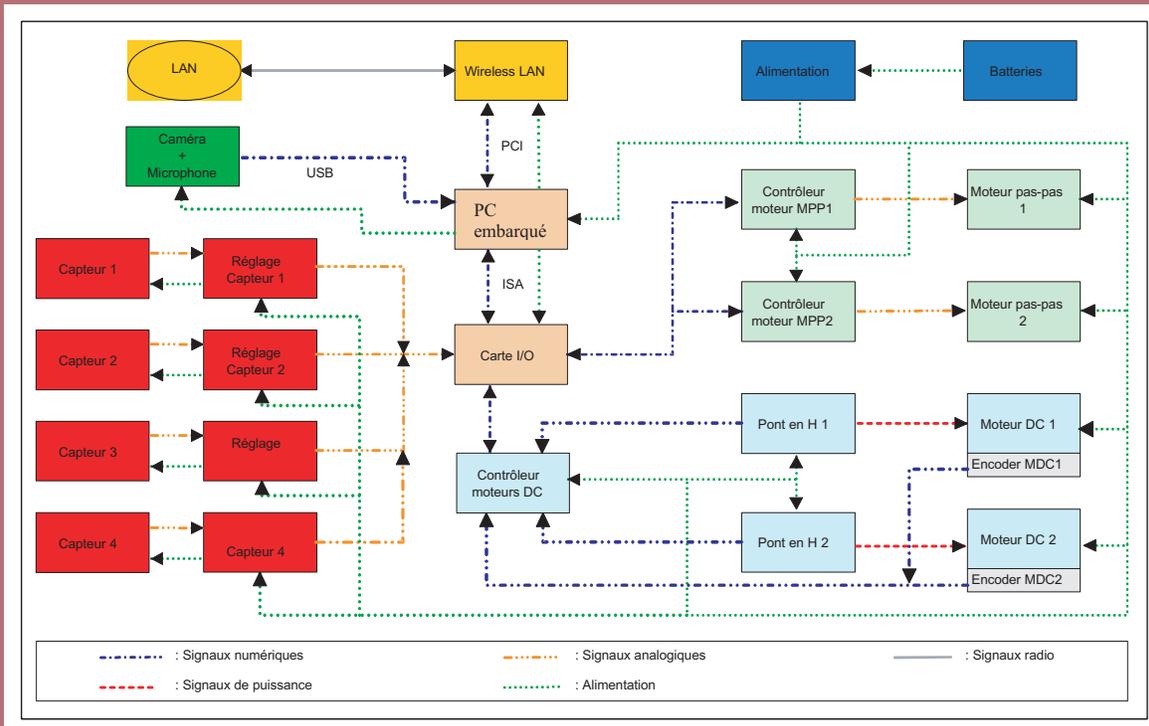


Figure 2: Structure globale du système électrique et électronique.

Tableau 1: Composantes de l'OE et Interfaces

Composants	Description
Processeur	AMD 1300 MHz
Disque rigide HD	Modèle standard de 1.2 GB
Mémoire Vive	SDRAM de 64 MB
Carte I/O	CIO-DAS08 avec connexion sur bus ISA, 8 A/D de 12 bits, 3 Timers de 16 bits, 24 E/S digitales 5V TTL, librairie pour différents langages de programmation.
Caméra avec Microphone intégré avec liaison USB	QuickCam de Logitech Capture vidéo 640x480 pixels Débit d'images jusqu'à 30 images/sec Format de l'image en mode RGB 24 bits ou YUV 12 bits
Détecteurs optiques d'obstacles	À infrarouge (AIRRS) avec sortie analogique, Détection: 0.1 à 0.8 m

Tableau 2: Paramètres du Robot nécessaires

Paramètres	Symbole	Valeur
Masse du robot	M_R	15 Kg
Rayon des roues motrices	R_A	0.06 m
Coefficient d'adhésion entre roues et sol	μ_0	0.05
Bras de levier de la résistance au roulement	f_{ROUL}	0.10 mm
Vitesse de pointe minimale du robot	$v_{R,P,MIN}$	2 m/s
Accélération de pointe (positive) minimale du robot	$\alpha_{R,P}$	3 m/s ²
Nombre de moteurs	N_M	2
Angle d'inclinaison du plan	α	0°

Comme on peut le remarquer, la carte intègre la majorité de composants de base d'un *OB* intégrés. Ce qui permet de la rendre encore plus proche d'un vrai *OE*.

Les autres composants qui forment le robot selon les besoins immédiats de l'actuelle réalisation, sont montrés au tableau 1.

4.2 La caméra

Afin de mieux explorer l'environnement dans lequel *Nessie* est placé et, de conséquence pour permettre un meilleur contrôle du robot, la caméra doit être mobile. Comme le montre la figure 3, on a donné à la caméra un mouvement à deux degrés de liberté. Deux moteurs pas à pas sont donc utilisés pour assurer cette fonction.

4.3 LAN Sans fil

Afin de garantir une liberté de déplacement, une liaison sans fil entre le robot et le point d'accès au réseau est nécessaire. Pour réaliser cette liaison on a utilisé deux produits de l'entreprise *D-Link*: le *DWL-520* et le *DWL-900AP*. Ces deux produits réalisent une transmission transparente point à point entre le point d'accès au réseau (par le *DWL-900AP*) et le robot (par le *DWL-520*). La configuration est visible sur la figure 4.

4.4 Les moteurs à courant continu

Le tableau 2 donne les paramètres du robot nécessaires au choix des moteurs à courant continu (CC).

Il est important de signaler que certaines hypothèses ont été considérées pour établir les valeurs du tableau 2:

- La masse du robot est surdimensionnée pour tenir compte d'une

surcharge possible,

- Les valeurs du coefficient de frottement entre les roues et le sol sont relatives aux roues (caoutchouc) roulant sur l'asphalte,
- Ces valeurs ne correspondent pas aux valeurs réelles des roues vu que leur matériel de composition est inconnu,
- Le robot doit respecter les valeurs de vitesse et d'accélération minimales de pointe seulement lorsque le plan du mouvement est horizontal.

Grâce à ces paramètres, nous calculons deux caractéristiques fondamentales des moteurs, la vitesse de rotation maximale des roues et le couple maximal absolu nécessaire. Ces nouveaux paramètres nous permettent donc de choisir les moteurs à utiliser pour la propulsion et par conséquent déduire les caractéristiques des hacheurs à quatre quadrants (4Q). Après calcul, un moteur du type GM9236S015 de la compagnie Pittman a été choisi.

4.5 L'alimentation et les batteries

La tension d'alimentation des moteurs CC est de 24 V alors que celle de la carte mère par l'intermédiaire d'une alimentation ATX devrait être comprise entre 18 et 32 V. La solution la plus simple est donc d'utiliser deux batteries de 12 V en série vu sa disponibilité sur le marché. En plus on a choisi de faire deux alimentations séparées: une pour les moteurs CC et une pour le bloc ATX. Cette décision a été prise pour éviter les interférences et les bruits lors de l'utilisation des moteurs (surtout au démarrage quand il y a une requête de courant important et lors de la commutation des convertisseurs statiques). Avec la charge totale en Ampère-heures (Ah) des batteries, et en considérant la consommation globale du robot, l'autonomie en énergie assurée dépasse facilement une heure.

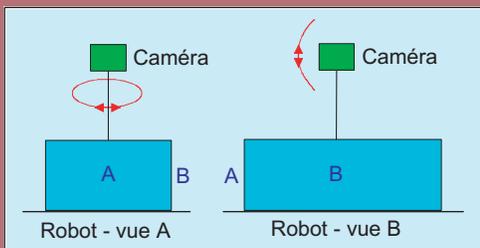


Figure 3: Mouvement de la caméra

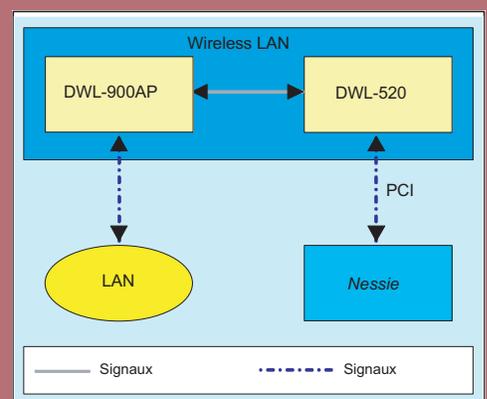


Figure 4: Système LAN sans fil

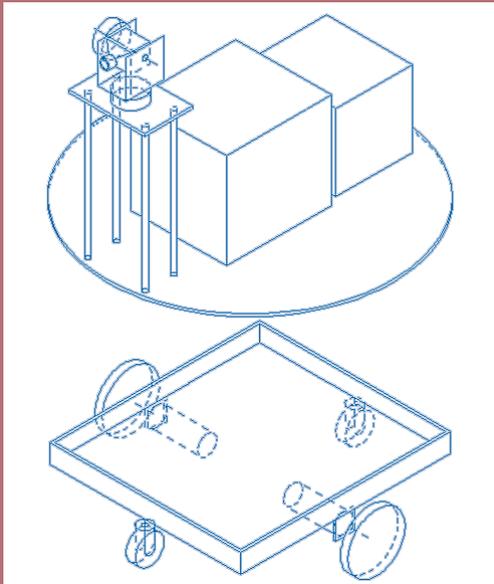


Figure 5: Vue des structures du robot

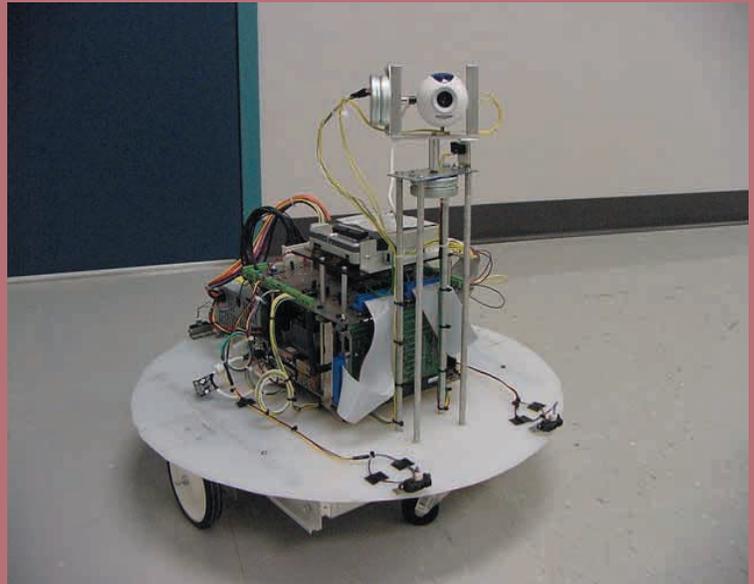


Figure 6: Nessie, vue d'ensemble

4.6 Stratégie de locomotion et Structure mécanique

Il y a plusieurs configurations possibles pour un robot mobile muni de roues. La stratégie choisie est dite à *vitesse différentielle symétriques* qui propose de placer deux moteurs de propulsion et de direction couplés à deux roues motrices. Les roues motrices sont disposées au centre du robot et deux roues libres sont disposées à l'avant et à l'arrière pour assurer la stabilité. Cette configuration permet au robot une très grande versatilité de mouvement.

4.7 Disposition des éléments

Le robot est structuré en deux parties. La première représente le support (de forme carrée et de 40 cm de côté) qui est la structure de base du robot assurant une bonne solidité et un faible poids. Pour ces raisons on a choisi l'aluminium comme matériel de fabrication. Tous les éléments du robot de poids important sont fixés directement sur ce support afin d'augmenter la stabilité. De conséquence les moteurs, ainsi que les roues libres, sont fixés à la partie inférieure du support, alors que les batteries sont fixées sur sa partie supérieure. La deuxième structure est une plaque ronde (en plexiglas et de 30 cm de rayon) sur laquelle sont fixés les autres éléments (carte de commande, le PC embarqué, l'alimentation ATX, les capteurs...). La caméra est fixée directement sur un support placé sur des tiges d'une longueur de 30 cm. Les figures 5 et 6 illustrent le schéma d'assemblage ainsi qu'une photo réelle du robot.

5.0 Entraînement des moteurs

Afin d'assurer une bonne couverture visuelle, la caméra doit pouvoir bouger selon deux axes. L'utilisation de deux moteurs pas à pas est donc indispensable. La propulsion du robot est assurée par deux moteurs CC commandés en vitesse. Le tableau suivant résume les circuits associés pour entraîner les moteurs utilisés. Une carte de

Tableau 3: Entraînement des moteurs

Moteur	Driver	Commande	Alimentation
Pas à pas	UCN5804	Mode unipolaire	UCN5804
Courant continu	IRF2110A	MLI et mesure de la vitesse/direction sur CPLD	Pont en H à Mosfets muni de capteur de courant à effet Hall et une protection en courant

commande a été donc développée pour inclure les diverses fonctions de ces entraînements électroniques.

6.0 Développement de la partie informatique

Le développement de la partie informatique se compose de deux programmes (*Robot_Client* et *Robot_Server*) qui sont des applications win32 écrites en langage C.

6.1 Robot_Client

Ce programme permet à l'utilisateur de se connecter à distance au robot et le commander via une interface graphique.

6.2 Interface avec l'utilisateur (GUI)

L'utilisateur peut commander le robot avec les touches du clavier pour faire bouger le robot et la caméra. Pour commander le robot, les mouvements possibles sont:

- ▲ : Marche avant,
- ▼ : Marche arrière,
- ◀ : Tourne à gauche (sur place),
- ▶ : Tourne à droite (sur place),
- ▲ & ◀ : Virage à gauche,
- ▲ & ▶ : Virage à droite.

La caméra peut à son tour, bouger sur l'axe horizontal et vertical. Les touches qu'il faut utiliser sont les suivantes:

- F: Tourne à droite,
- S: Tourne à gauche,
- E: En haut,
- D: En bas.

En outre, l'utilisateur peut définir la puissance des moteurs, F1 sert à augmenter la puissance et F2 à la diminuer.

Pour permettre à l'utilisateur de commander le robot il faut aussi lui fournir des informations sur l'environnement et les variables dynamiques du robot. Les informations disponibles sont:

- La vitesse du déplacement,
- La distance mesurée par les capteurs de proximité,
- La position de la caméra, et

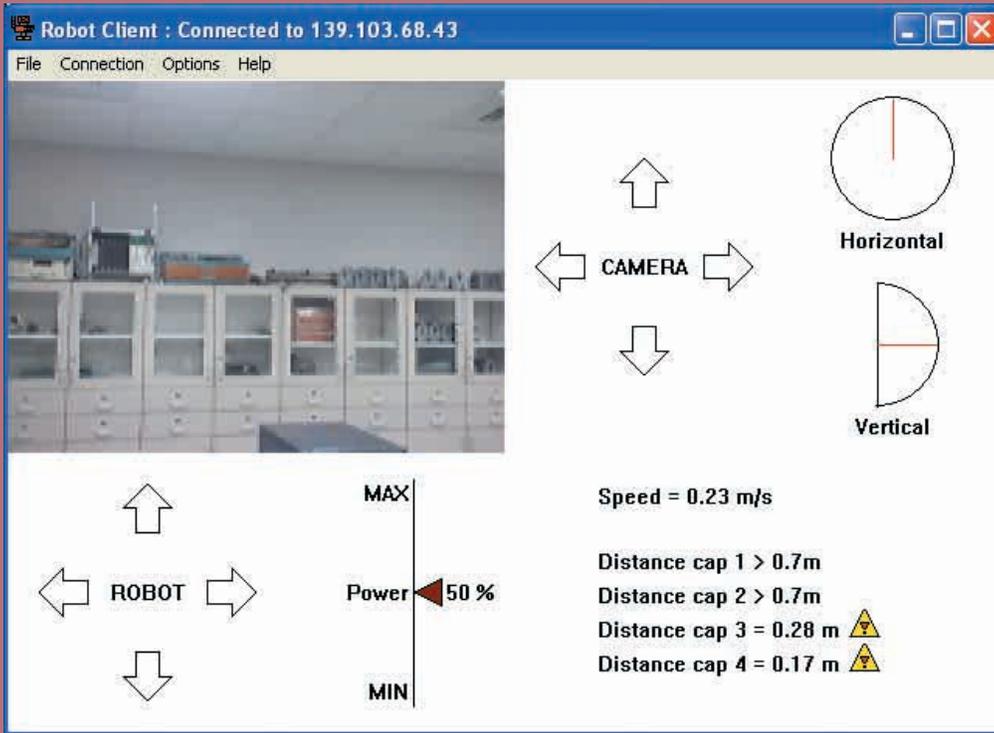


Figure 7: Interface graphique de l'utilisateur (GUI)

- L'information audio-vidéo capturée par la camera.

L'image vidéo a une résolution de 160x120 pixels avec 10 frames/sec. L'affichage est fait sur un rectangle de 320x240 pixels (zoom x2). L'information audio est de format wave pcm avec 8 bits/sample et 11.5 k/sec. La fenêtre vue par l'utilisateur est montrée à la figure 7.

6.3 Robot_Server

Cette application accomplit les tâches suivantes:

- Recevoir les commandes envoyées par le programme *Robot_Client* et les interpréter pour que le robot puisse exécuter les opérations désirées par l'utilisateur (mouvement du robot et de la caméra),
- Recevoir les informations sur l'environnement du robot, les interpréter et les envoyer au programme *Robot_Client* (donc à l'utilisateur). Pour la vidéo, la compression d'images est utilisée,
- Détecter les obstacles.

7.0 Résultats

Les résultats obtenus répondent à nos attentes et au cahier des charges. Voici les points fondamentaux:

- *Nessie* est contrôlable par Internet ou par réseau local. Il est capable de se déplacer en avant ou en arrière, de tourner sur lui-même dans les deux directions et d'exécuter des virages et de suivre les commandes de l'utilisateur,
- Il détecte les obstacles et il cherche à éviter toute collision possible,
- Le son et la vidéo sont transmis entièrement à distance.

La vitesse maximale du robot répond aux perspectives et elle est de l'ordre de 5 m/s.

En ce qui concerne l'accélération nous n'arrivons pas aux valeurs théoriques désirées à cause d'une grande adhérence des roues motrices. L'utilisation d'un autre type de roues avec une meilleure adhérence devrait résoudre le problème.

Lors des essais effectués, la transmission de l'image vidéo fonctionne

suffisamment bien pour permettre à l'utilisateur de conduire le robot sans difficultés majeures. Le seul inconvénient rencontré est un retard d'environ une seconde et demi pour des transmissions à longue distance. Ce retard a été rencontré précisément pendant les tests réalisés entre Moncton (au Canada) et Fribourg (en Suisse).

Pour l'audio, les résultats ne sont pas optimaux. Pour des faibles distances la communication fonctionne avec une qualité suffisante. Pour des longues distances, par contre, le flux des paquets n'est pas constant et donc la fonctionnalité audio n'est pas utilisable. De plus, l'utilisation d'un microphone de meilleure qualité améliorera la qualité du son capté.

Quant à la plage de détection des obstacles, celle-ci est limitée à 80 cm pour les capteurs optiques utilisés. Le choix de ce type de capteurs a été motivé principalement par le coût faible. L'intégration de capteurs ultrasoniques s'impose donc comme une autre alternative afin d'élargir cette plage de détection sur plusieurs mètres.

8.0 Conclusion

Le but de ce projet était la conception et la réalisation d'un robot

mobile commandé à distance à travers le réseau Internet ou un réseau local. Les contraintes principales étaient le retard de transmission et la bande passante disponible. Avec notre robot, nous avons pu montrer qu'au niveau technologique actuel un système de ce genre est réalisable avec des bons résultats. Certaines améliorations et extensions des fonctions du robot conçu sont maintenant envisagées pour augmenter l'autonomie, assurer un fonctionnement fiable et intelligent et améliorer et enrichir l'interface graphique de l'utilisateur.

Les applications de ce type de robot peuvent inclure la surveillance à distance ou l'inspection dans des environnements accessibles difficilement alors que la structure mécanique peut prendre diverses formes pour une meilleure adaptation aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

9.0 Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier le professeur Jamel Ghouli de l'université de Moncton pour sa contribution, les techniciens Philippe Boudreau et Réal Saulnier pour le support technique respectivement dans la gravure des circuits électroniques et l'assemblage mécanique.

10.0 Références

- [1]. Davide Zanetti, Ramon Zambelli, Robot mobile, Projet de diplôme 2002, Université de Moncton - Faculté d'ingénierie - École des Ingénieurs de Fribourg.
- [2]. P. Coiffet, Des Robots à la robotique, Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRC).
- [3]. Grant, J. Gowar, Power Mosfets, Theory and applications, Wiley - 1989.
- [4]. Ramu Krishnan, Electric motor Drives, Modeling, Analysis and Control, Prentice Hall, 1/e, ISBN 0-13-091014-7, 1/e, 2001.
- [5]. Circuit Maker 2000 et Trax Maker 2000 de Protel International.
- [6]. LSC ispVM System v.11.0.1 de Lattice.
- [7]. Microsoft Visual C++ v.6.0.

À propos de l'auteurs

Daide Zanetti a obtenu le diplôme d'ingénieur HES en électronique de l'École d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, Suisse, en 2002. Son projet de diplôme, présenté dans cet article, a été réalisé sous forme de stage à la faculté d'ingénierie de l'Université de Moncton, Canada. Depuis le mois de septembre 2003, il est étudiant en maîtrise à l'institut ALaRI de l'Université de Lugano, Suisse. Actuellement, il travaille sur sa thèse de maîtrise; un projet concernant l'optimisation en terme de consommation d'énergie de l'utilisation d'un module Bluetooth.



Ramon Zambelli a reçu son diplôme d'ingénieur HES à l'école des ingénieurs de Fribourg en 2001. Il a réalisé son projet de diplôme à l'université de Moncton pour la réalisation du projet décrit dans cet article. Il s'intéresse à l'électronique, au développement des applications en temps réel et à l'automatisation. Il travaille présentement pour l'entreprise SICPA de Lausanne à titre d'ingénieur de développement et intégration.



Mohsen Ghribi a obtenu un baccalauréat en génie électrique, une maîtrise en électronique industrielle de l'université du Québec à Trois-rivières et un doctorat en génie électrique de l'université Laval, respectivement en 1987, 1989 et 1994. Il a enseigné à L'école de technologie supérieure (Montréal), l'école polytechnique de Masuku (Gabon) et depuis 1997, il a joint l'université de



Moncton. Dans ses activités, il s'intéresse à l'entraînement électronique des machines électriques, l'électronique et la commande par processeur de signal (DSP).

Ottar Johnsen a reçu son diplôme d'ingénieur électricien et le titre de Dr ès Sciences techniques de l'EPFL en 1974 et 1979. De 1979 à 1983 il a été Member of Technical Staff, Bell Laboratories, Holmdel, USA, et en 1983-1984: ingénieur système, à Tricom, Berne. Depuis 1984 il est professeur de traitement du signal et de télécommunications à l'École d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg en Suisse. Il a été chercheur invité à University of California, Santa Barbara et professeur invité à l'École d'ingénieurs de Bergen, Norvège.



Azeddine Kaddouri a obtenu un doctorat en génie électrique de l'université Laval, Québec, Canada, en 2000. Entre 1993 et 1999, il a occupé un poste d'assistant de recherche au sein du groupe de recherche (GREPCI) de l'École de technologie supérieure, Montréal, Canada. En 1999 il a joint la faculté d'ingénierie de l'Université of Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada, où il occupe un poste de professeur adjoint. Actuellement, il est le coordonnateur du groupe de recherche (GRET) à l'Université of Moncton. Il s'intéresse à la commande non-linéaire ainsi que le développement de logiciels spécialisés en génie électrique.

