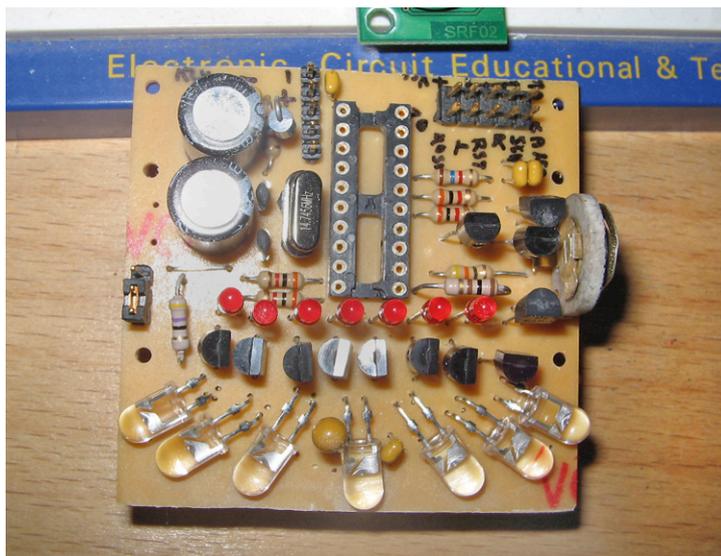


pare-chocs IR pour robot fonceur protection tous azimuts



Ralf Schmiedel

À robot rapide, pare-chocs efficace ! C'est bien de savoir qu'il y a un obstacle, c'est encore mieux de connaître sa direction. Dans ce projet, matériel et logiciel doivent jouer serré pour éviter les collisions avec les obstacles.

Le pare-chocs infrarouge (IR) fait d'abord office de radar d'acquisition. Des diodes radiantées IR disposées en demi-cercle et pilotées par un microcontrôleur émettent successivement dans différentes directions. Un capteur IR à grand angle reçoit les rayons réfléchis dès qu'un obstacle est à portée. Cette photodiode fonctionne en tout ou rien. Le microcontrôleur s'occupe d'établir la relation entre l'instant où l'impulsion est réfléchi et la diode qui l'a émise, et d'en déduire l'angle sous lequel l'objet a été repéré. Ce pourrait

être une simple synchronisation, mais pourquoi ne pas utiliser un protocole existant ? Prenez un UART pour cadencer les signaux infrarouges émis par les diodes et reliez l'entrée RXD de l'UART au contrôleur ; ce dernier recevra les bits affectés à chacune des diodes IR. Vous pourrez ainsi détecter simultanément plusieurs obstacles dans différentes directions. Chacune des sept diodes installées fournit un bit au protocole 8N1 de l'UART (**figure 1**). Il faut compléter avec un bit de départ, le huitième bit de donnée et un bit d'arrêt :

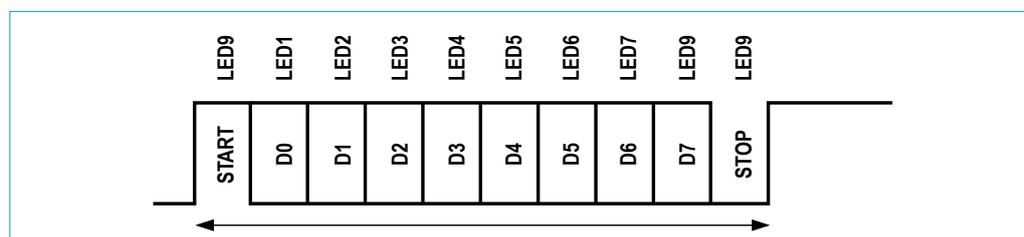


Figure 1.
Contributions des diodes
aux données du protocole
UART 8N1.

c'est l'affaire d'une autre diode IR dirigée en plein sur le capteur IR. Elle exerce une fonction spéciale en rapport avec le réglage de l'amplification du capteur, mais nous y reviendrons plus loin.

C'est la même interface UART du pare-chocs qui communique avec le contrôleur hôte du robot et donne ainsi le résultat des mesures sur les obstacles. Ce contrôleur hôte envoie à son tour au contrôleur du pare-chocs des commandes de paramétrage de base en simple format ASCII.

Les diodes IR

Le circuit imprimé laisse le choix de l'implantation des diodes pour couvrir un angle d'émission de 90° ou 180°. De la même manière, on peut aussi choisir des détecteurs séparés pour un contrôleur en boîtier SO-8 ou des capteurs sur 360°, mais alors avec un contrôleur AVR plus gros.

Le projet met en œuvre un capteur IR très rapide, le TSOP7000 [1] de Vishay. Il s'agit d'un récepteur de télécommande particulier, il ne fonctionne pas comme les autres modèles TSOP dans la gamme de 30 à 56 kHz, mais bien en modulation de fréquence autour de 455 kHz. Comme tous les autres, il est équipé, dans l'étage d'entrée, juste derrière le préamplificateur de la photodiode, d'un amplificateur à contrôle automatique de gain (AGC). Il adapte donc le gain en fonction des énormes différences d'amplitude du signal d'une télécommande et empêche la saturation de l'étage

de démodulation qui suit. Mais pour notre projet, la fonction d'AGC est contre-productive. La sensibilité en serait étendue jusqu'à une portée de 20 m et le pare-chocs annoncerait continuellement des obstacles. D'autre part, l'étage d'entrée présente une technique de réception à grande vitesse et une bande passante étroite pour une haute sensibilité. Ce sont là des caractéristiques essentielles dont nous avons besoin.

Pour désactiver la fonction d'AGC et faire travailler l'étage amplificateur à un gain constant réglable, l'AGC est ramené au niveau bas au moyen d'un éclair produit par une ou deux diodes radiantes supplémentaires dirigées directement sur le capteur. Le gain est adapté par un signal MLI et un potentiomètre d'ajustage. Comme la réaction de l'AGC est assez lente, plusieurs dixièmes de secondes, des éclairs réguliers suffisent à l'entretien d'un gain constant.

Toutes les diodes émettrices sont des modèles rapides de Vishay [2] [3]. Selon l'angle de surveillance voulu, on utilisera des diodes à faisceau de 10° pour une couverture sur 90° ou de 22° pour un demi-cercle. Elles balayent l'espace en continu (**figure 2**). Le TSOP7000 présente un angle de réception de 90°, donc pour suivre les échos sur 180°, il en faut deux, dont on relie ensemble les sorties à collecteur ouvert pour former une porte OU.

Le contrôleur est un AVR ATtiny2313, il dispose d'une interface UART et coûte très peu.

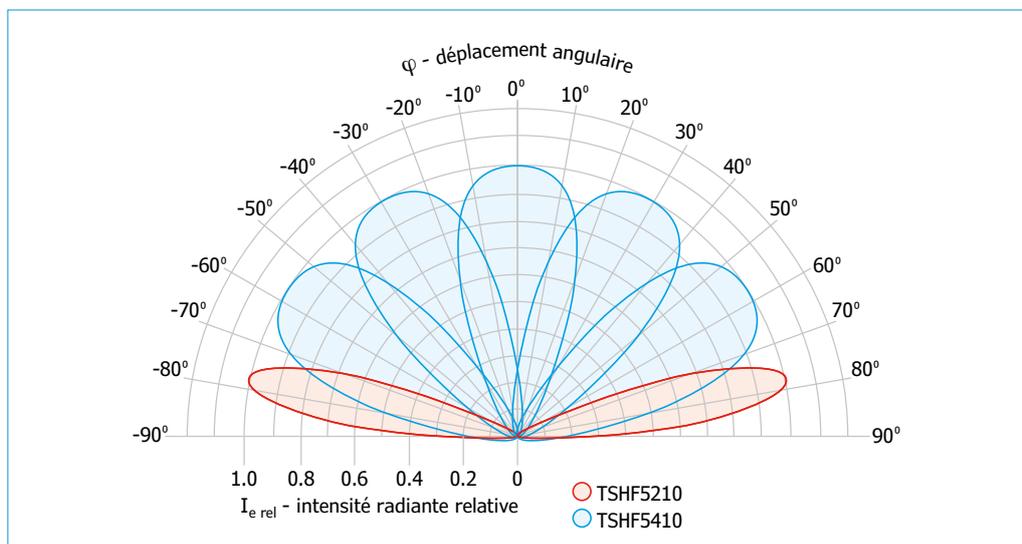


Figure 2. Caractéristique de rayonnement des diodes IR pour 180°.

Caractéristiques techniques

- Modulation de fréquence : 455 à 460 kHz
- Fréquence d'émission d'un balayage : 19,2 kHz ou 38,4 kHz
- Durée d'un balayage : 2 ms
- Fréquence de balayage en roue libre : env. 105 Hz
- Portée : 20 cm à plus de 2 m, selon coefficient de réflexion de l'obstacle. Diminution uniquement pour les objets très sombres. Doublement de la portée avec des diodes à 10° sur la version à 90° d'ouverture.

gique qui commande les étages configurés en Darlington T10/T11, des BC547 et BC639. La résistance talon R5 sert de drain de courant pour les diodes IR, courant dont on calcule la valeur selon :

$$I = (V_{CC} \times \text{rapport cyclique} - 2 \times U_{be})/R5$$

La résistance de limitation de courant R3 est en série avec l'ensemble des cathodes des LED rouges. En raison du réglage de courant des étages Darlington, les transistors tampons sont dispensés de résistance de base, le courant s'y établit automatiquement et s'ajoute modestement à celui d'émission. Économie de composants, mais aussi d'énergie !

Les deux diodes « flash » LED9 et LED17 obtiennent leur courant d'une manière similaire aux autres diodes de balayage, via PB4 et le drain de courant Darlington T8/T12. On règle le courant de flash et du même coup la sensibilité des TSOP au moyen du potentiomètre d'ajustage R6.

Les sorties à collecteur ouvert des récepteurs IR, actives au niveau bas, sont reliées ensemble en porte OU et le signal résultant atteint la ligne PD0 du contrôleur, polarisée entretemps par R7 au niveau haut. L'interface UART du contrôleur prend sur RXD les données des capteurs, mais assure aussi la communication par K3 avec le contrôleur hôte. D1 isole la ligne RXD de l'hôte des signaux TSOP. La tension d'alimentation provient aussi de l'hôte. Comme le circuit travaille avec de forts courants d'émission, jusqu'à 0,5 A, le condensateur électrolytique C7, modèle à basse RSE (résistance série équivalente), stabilise la tension.

Le logiciel

Ceci nous amène déjà au logiciel. Les diodes LED9 et LED17 fournissent les éclairs pour le réglage de gain des TSOP, mais servent aussi à produire le bit de départ pour le protocole 8N1. Les sept premiers bits de données constituent les informations du balayage, le huitième bit est toujours 1, et le bit d'arrêt est lui aussi produit par un éclair.

L'hôte communique avec le contrôleur du pare-chocs en ancien code ASCII à 127 signes, il ne demande donc que 7 bits. Le huitième bit du protocole est toujours 0, de manière à marquer la différence avec les signaux des capteurs IR.

Il y a malgré tout comme un défaut. Il n'y a aucune synchronisation entre les réceptions de l'IR et de l'hôte, les signes peuvent alors se chevaucher et perturber le fonctionnement. La solution consiste à ce que l'hôte reçoive une invite (« > », code ASCII 62) avant d'être autorisé à transmettre une commande. L'hôte demande cette invite en envoyant une série de signes *Échap* (ASCII 27). Après environ cinq de ces signes, on est à peu près sûr que l'hôte l'obtiendra, sinon, il n'a qu'à recommencer. Dès que l'invite parvient à l'hôte, l'interface se consacre exclusivement à l'hôte et le balayage s'arrête. Quand le balayage recommence, l'hôte ne doit normalement plus accéder en écriture au pare-chocs et ne plus s'occuper que de lire les valeurs qui lui sont transmises.

Le programme a été rédigé en BASCOM, sauf la partie concernant l'émission des diodes IR qui a été écrite en assembleur pour arriver à suivre le 455 kHz. Cette porteuse, selon la fiche technique, permet une modulation de fréquence à 20 kHz, ce qui correspond au débit binaire habituel de 19,2 kb/s. Mais j'ai mis en évidence qu'un débit de 38,4 kb/s était parfaitement possible et c'est ce que j'ai implémenté dans le logiciel. D'autres fréquences sont aussi possibles, voyez les commentaires du programme à ce sujet.

Le programme interroge en boucle la ligne Rx de l'interface UART et réagit en conséquence. Le **tableau 1** répertorie les différentes commandes et fonctions. En assembleur, on règle facilement avec des instructions NOP la chronométrie selon la fréquence du quartz (cf. code source [2]). Pour une autre fréquence de quartz, référez-vous aux commentaires du programme.

Tableau 1. Aperçu des commandes

commande	fonction	valeur significative
A	paramètre PWM_A du contrôleur pour une puissance d'émission	30 à 130
B	paramètre PWM_B du contrôleur pour un gain de l'« ancien » AGC	30 à 130
M	fixe le mode : chaque bit commande les fonctions suivantes, mise à zéro inutile. Bit 2 : double la MLI et donc la vitesse du balayage en mode progressif. Bit 4 = 1 : allume les LED rouges. Bit 4 = 0 : éteint les LED rouges.	
R	Radar, mode de balayage libre progressif	quitter avec plusieurs <i>Échap</i> (ASCII 27).
F	<i>Free running</i> , balayage libre	quitter avec plusieurs <i>Échap</i> (ASCII 27).
W	fixe la pause entre deux balayages en ms (au moins 2 ms)	0 à 255
P	balayages progressifs, chacun de portée croissante.	
S	<i>Scan</i> , un seul balayage et réponse avec le résultat.	
I	commande initiale : l'une des commandes ci-dessus sera exécutée automatiquement après démarrage, tous les autres codes ASCII renvoient à une invite « > » pour une entrée.	

On peut aussi saisir ces commandes en caractères bas de casse (minuscules).

Pour lancer un balayage, on commence par flasher l'AGC des TSOP7000 pour en régler la sensibilité voulue. Les mêmes diodes produisent ensuite un bit de départ, puis les sept diodes émettent leur faisceau tour à tour pour que le capteur remplisse chacun des bits de données (écho ou pas), charge alors aux diodes flash de produire le huitième bit et le bit d'arrêt. On imagine la simplicité de réception d'un balayage : le TSOP est relié à l'entrée Rx de l'interface UART et BASCOM obtiendra directement l'accès à un octet.

Construction et mise au point

Encore quelques informations sur les diodes IR utilisées. En raison de la haute fréquence d'émission, il est indispensable de mettre en œuvre ici les modèles indiqués ou leurs équivalents pour atteindre la portée nécessaire. Les diodes IR LD274 bien connues pour leur

angle de faisceau de 20° sont trop lentes pour ce boulot et ne sont efficaces que sur une distance de 30 cm environ. Leur temps de réaction et la raideur des flancs du signal offrent des prestations insuffisantes pour le mode d'émission souhaité.

On trouve dans la fiche technique du TSOP7000 sa caractéristique de réception en forme de fuseau avec une ouverture de 90°. Avec un seul capteur, le champ d'exploration a la même forme. Avec deux capteurs symétriques inclinés de 45° sur l'axe de déplacement, l'ouverture totale est donc de 180°. La sensibilité est alors un peu plus faible sur les bords, mais aussi au centre.

Le plan de câblage prévoit, pour la version à 180° d'exploration, deux diodes TSHF5210 aux extrémités, parce qu'avec une ouverture de faisceau de 10°, leur densité de rayonne-

ment supérieure à celle des TSHF5410 (22°) compense l'affaiblissement de la sensibilité de détection sur les bords, à angle droit. Mais on peut aussi y mettre des TSHF5410.

Pour accroître la vision latérale et obtenir une zone de détection totale à l'avant, avec une légère régression au centre, il est préférable de monter deux TSHF5210 aux positions extrêmes. Si l'on veut en outre un profil vraiment en hémicycle, on peut encore en ajouter une troisième au centre qui, comme sur la version à 90°, irradie droit devant.

La **figure 4** et [5] montrent les courbes d'activation par un certain nombre d'obstacles (de l'intérieur vers l'extérieur), stylo à bille, main, feuille de papier blanc, sous différents réglages de la MLI. Le champ de détection n'y est pas tout à fait symétrique du fait que les TSOP7000 étaient manifestement « éblouis » différemment, en raison des tolérances sur les

prévoir une couche de cuivre, une bande auto-collante ou simplement une couche d'encre noire d'un marqueur. Il faut veiller à installer les diodes IR perpendiculairement au circuit imprimé et en plier les fils à 90°, c'est la seule façon de leur assurer un rayonnement selon l'angle correct.

Quand tous les composants ont été convenablement implantés sur et sous le circuit imprimé, on peut relier l'interface TTL au système hôte et brancher la tension d'alimentation Vcc, comme celle de l'hôte, par K3. Pour les diodes radiantes, on a le choix entre Vcc (cavalier J1 sur +5 V) ou une source non régulée de tension entre 4,8 et 16 V, d'un accumulateur probablement. Elle n'a en fait aucune influence sur la puissance d'émission, puisque les émetteurs de T1 à T7 sont toujours portés à 4,3 V environ : $V_{cc} - U_{be}$. Les résistances en option R1 à R10 réduisent la dissipation sur T1 à T7 lors de longs balayages

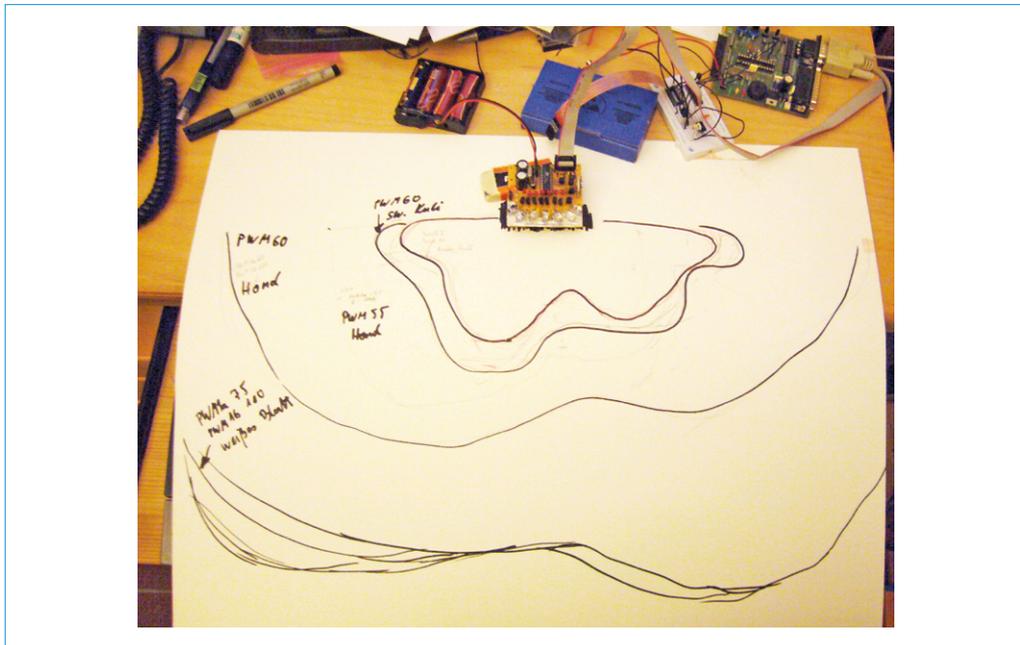


Figure 4. Courbes de sensibilité de détection pour différentes sortes d'obstacles.

composants ou sur l'emplacement des diodes ou encore des distances entre émetteur et capteur. Dans la vue de face (**figure 5**), on peut voir les distances différentes entre les diodes IR et les capteurs après l'ajustement mécanique du champ de mesure.

Lors de la construction du circuit imprimé, notez qu'il faut implanter les TSOP7000, LED9 et LED17 sur l'autre face de la carte qui d'ailleurs ne peut pas être transparente. On peut

très rapides à la portée maximale. En général, on peut les remplacer par de simples ponts de câblage.

Pour un premier essai, il faut utiliser un PC avec un programme de terminal genre Hyperterminal avec le paramétrage 8N1. On le relie par un câble adéquat ou par convertisseur USB/TTL à notre interface TTL/UART. Il faut aussi appliquer du +5 V sur K3, par exemple depuis l'interface USB.

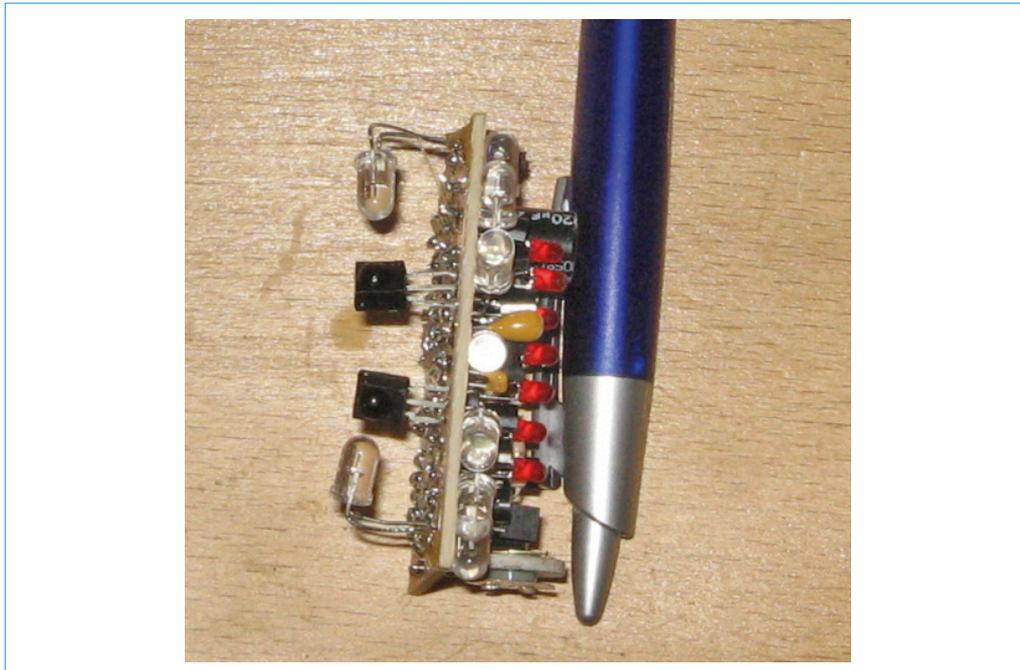


Figure 5.
À gauche, on voit les diodes flash après ajustement des distances avec les TSOP.

À la mise sous tension, suivant la valeur dans *Initial Command Register*, soit le contrôleur effectuera une action, soit il proposera une invite. Pour obtenir l'invite, il faut envoyer plusieurs fois *Échap* (ASCII 27). On peut alors donner une des commandes du tableau.

Avec les commandes R et P, on fait exécuter des balayages progressifs au cours desquels la sensibilité est augmentée petit à petit. Ils donnent deux résultats, la direction et la valeur MLI qui ont permis de détecter un obstacle.

Comme la MLI ne s'accroît que lentement, il faut de nombreux balayages et la récurrence de ceux-ci dépend du nombre de balayages nécessaires avant une quelconque détection. Cela peut facilement prendre entre 100 ms et 1 s.

(150076 - version française : Robert Grignard)

Liens

- [1] <http://datasheet.octopart.com/TSOP7000.-Vishay-datasheet-595920.pdf>
- [2] www.vishay.com/docs/81313/tshf5210.pdf
- [3] www.vishay.com/docs/81303/tshf5410.pdf
- [4] Logiciel : www.elektormagazine.fr/articles
- [5] www.youtube.com/watch?v=AAm9u9GZCo