

Projet d'ingénierie simultannée 2017

**Babyfoot Automatique :
vision et stratégie**

Emil Gelfort - Othman Bennaghmouch

10 Juin 2017

Directeur de projet : Prof. Christophe Salzmann

Date : 10 Juin 2017

Table des matières

1	Général	2
1.1	But du Projet	2
1.2	Achat de dispositifs à l'étranger	2
2	Vision	3
2.1	Caractéristique du système de vision choisi	3
2.2	Critère de sélection	3
2.3	Les différents systèmes envisagés	3
2.4	Caractéristiques du système choisi	4
2.4.1	Fonctionnement	4
2.4.2	FPS	5
2.4.3	Latence	5
2.4.4	Résolution	6
2.5	Choix d'implémentation	6
3	Stratégie	9
3.1	Tir croisé	9
3.2	Placement des défenseurs	10
4	Ouvertures pour de futurs projets	11
4.1	Implémentation mécanique	11
4.2	Lecture des données	11
4.3	Deep Learning	11
5	Sources	12

1 Général

1.1 But du Projet

Les principaux buts du projets sont :

- Choisir, commander et tester un nouveau modèle pour la vision d'une balle de babyfoot, basé sur des capteurs infrarouges.
- Comparer ce système avec l'ancien système basé sur une caméra et décider de l'implémentation du nouveau système.
- Implémenter des éléments de stratégie.

1.2 Achat de dispositifs à l'étranger

Communication avec l'entreprise Pour le nouveau système de vision, la décision a été prise de ne pas concevoir le système en entier, mais d'utiliser une solution existant déjà, plus précisément les systèmes de reconnaissance tactile des grands touchscreens et touchboards. La plupart des fabricants de ces produits sont chinois. La maîtrise de l'anglais n'est pas toujours assurée avec la personne de contact, c'est pourquoi il faut formuler ses demandes le plus simplement et clairement possible, sans entrer dans les détails.

Gestion du temps La Chine se situant de l'autre côté de la planète, les fabricants répondent en général vers 3-4h du matin (heure suisse), c'est pourquoi des échanges à la base de seulement un mail par jour sont possibles. C'est pourquoi le processus de décision de commande chez PQ labs a pris 2 semaines. Le système commandé n'étant pas en taille standard, la fabrication sur mesure de la pièce choisie rajoute une semaine d'attente supplémentaire. La communication et la négociation avec L'EPFL et les responsables afin de valider la décision d'achat à créé un mois de plus de délai. Finalement, l'envoi par la poste depuis un pays éloigné prend une semaine à peu près. Pour ce projet, la gestion du temps n'a pas été optimale. Tout de même, même si une forte pression est exercée sur tous les éléments de la chaîne, et que le contact se fait bien, une attente d'au moins un mois doit être calculée lors d'une commande dans un pays comme la Chine.

Autres Le prix du système est un des grands points positifs. Le système de base coûte 210 \$, et la fabrication sur mesure d'un système a coûté 400\$. Le service après-vente a été plutôt satisfaisant dans l'ensemble. En effet, les réponses ont été plutôt rapides et concises, même si pas toujours suffisamment pertinentes. Quelques problèmes techniques simples ont vite pu être réglés. Par contre, les problèmes plus compliqués comme la structure et le fonctionnement du driver, ou alors les informations sur la nature des 577 signaux transmis par la connexion USB, n'ont pas pu être résolus par le service clients. Il reste à voir si c'est du à un problème de communication/langage, ou alors à la politique de l'entreprise quand au partage d'informations plus précises concernant leur système.

2 Vision

2.1 Caractéristique du système de vision choisi

Le système actuel de vision du babyfoot est une caméra placée en dessous du terrain. Elle offre une précision de $1\text{px}=1.6\text{mm}$, avec une latence faible d'à peu près 3-5ms.

L'algorithme actuel offrait une fréquence d'acquisition de 400 images par seconde lorsque l'algorithme détecte bien la balle. Un des problèmes majeurs est le passage à 25-30 FPS lors de la perte de vision de la balle, ou lors du déplacement rapide de celle-ci. Le babyfoot est un jeu qui fonctionne plutôt par à-coups, c'est à dire que des déplacements très rapides de balle sont suivis de moments où la balle est au repos. C'est pour cela que la fréquence d'acquisition utile est plutôt celle de l'algorithme plus lent.

De plus, la caméra étant placée sous le terrain, la surface de jeu n'est pas celle d'origine, mais une plaque en verre transparente. Pour que ce système fonctionne convenablement, il faut utiliser de plus une balle spécifique, orange fluo et en plastique. Il s'en suit une expérience de jeu qui reste lointaine de celle d'un vrai babyfoot, par exemple d'un modèle pouvant être utilisé lors de compétitions. En effet, la combinaison entre la plaque de verre et la balle en plastique rend le contrôle de la balle compliqué, ainsi que la prédiction précise de son comportement.

La recherche d'un nouveau système de vision est donc essentiel afin de pouvoir, dans le futur, espérer pouvoir battre un humain dans des conditions de jeu officielles, avec balles et terrain officiel. Le contrôle de la balle étant la base du jeu, celui-ci ne pourra être implémenté que sur un terrain et des balles qui ne glissent pas. Finalement, le plaisir du jeu sera aussi grandement augmenté.

2.2 Critère de sélection

Le principal soucis rencontré avec le système de vision "caméra" est le nombre de fps trop bas et instable. De plus, le système perd souvent la balle de vue. Notre critère principale de choix sera donc un système qui peut tourner avec un FPS plus élevé et de manière plus constante.

De plus, la situation optimale serait de se rapprocher le plus d'une condition classique d'une partie de babyfoot, avec une balle standard et le terrain d'origine. En effet, après lecture des rapports des années précédentes, nous avons pu constater qu'en l'état actuel des choses, il est impossible de contrôler de manière satisfaisante la balle [1]. Nous pensons que cela est dû à la nature très glissante du terrain en verre et à une balle trop dure. Un grand plus pour un nouveau système de vision serait donc de pouvoir remettre en place le terrain d'origine, et utiliser une balle plus standard.

Les autres critères utilisés pour choisir le système de vision sont la latence, l'adaptabilité, la résolution et le degré de confiance que l'on accorde au fournisseur du système.

2.3 Les différents systèmes envisagés

Avant de prendre une décision, d'autres systèmes de vision ont été envisagés. Notamment, un système de balayage par laser a été discuté, mais l'idée a été rejetée, notamment suite aux informations tirées de [2].

Une autre idée était une reconnaissance de la balle par ultra-sons, en utilisant le même principe que les radars, ou les chauves-souris. L'idée est abandonnée, car la présence des joueurs et des barres sur le terrain, qui seraient aussi détectées, brouillerait les mesures, ou alors demanderait un algorithme de contrôle jugé trop complexe pour être implémenté à notre niveau.

L'idée retenue est celle des rangées de phototransistors et LED IR (infrarouges). Ces systèmes ont plusieurs avantages. En effet, des systèmes pré-faits de ce type existent déjà, l'étape de la conception et de la fabrication peut donc être contournée. La précision n'est limitée que par le fabricant, et les systèmes existants déjà semblaient avoir les caractéristiques nécessaires pour l'application au babyfoot.

2.4 Caractéristiques du système choisi



FIGURE 1 – Système choisi

2.4.1 Fonctionnement

Bien que le fabricant ne dévoile pas grand chose sur le fonctionnement du système, il est vite deviné en démontant le système.

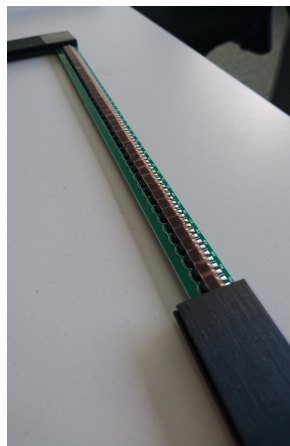


FIGURE 2 – Un regard dans les entrailles du système

Des rangées de LED et de phototransistors servent à détecter la position d'un objet se trouvant dans l'axe des LEDs.

Pour la partie logiciel, les données sont traitées directement dans le système. Ensuite, elles sont transférées par USB, le driver qui se situe dans l'ordinateur reçoit les paquets de données et les pousse après par tcp pour pouvoir les traiter (sur LabView ou autre).

2.4.2 FPS

Les frames par seconde (FPS) sont la mesure du nombre d'acquisitions par seconde effectués par le système. Au début, avec le driver fourni par PQ Labs, 80FPS sont obtenus, ce qui n'est pas assez pour un jeu comme le babyfoot, où la balle peut atteindre des vitesses de 10m/s. Après une discussion avec les fournisseurs, une modification du driver est effectuée, permettant d'avoir constamment 400FPS, ce qui est optimal.

2.4.3 Latence

Procédure expérimentale Pour calculer la latence de notre système, nous avons utilisé un iPhone 6s avec une caméra à 240 fps, le temps écoulé entre 2 images de la vidéo est donc égal à 4.16 ms. Mr. Salzmann nous a fourni un programme Labview qui affiche une lumière verte dès que l'ordinateur reçoit l'information que le "IR touch frame" détecte quelque chose.

Limitations Il y a plusieurs limitations à notre procédure expérimentale. Tout d'abord, l'écran que nous avons filmé pour obtenir la latence en a lui-même une. D'après nos recherches, cette latence peut aller de 10 à 25 ms. De plus, l'existence d'une latence non-négligeable lors du traitement de l'information sur LabView n'est pas impossible. Ces facteurs font que la latence ne peut être mesurée précisément (une erreur inférieure à 2ms).

Résultats Nous remarquons qu'il y a en moyenne 11 frames entre le moment où l'on touche le système (Figure 3) et le moment où la lumière verte s'allume (Figure 4). Cela nous donne donc une latence de 45-50 ms. La latence optimale étant de 1-2ms, même avec l'incertitude sur nos mesures, cette latence est pour le moment bien trop élevée pour l'implémentation que l'on envisage pour le "IR touch frame". La commande du système ayant pris beaucoup plus de temps qu' prévu, une solution à ce problème n'a malheureusement pas pu être trouvée.

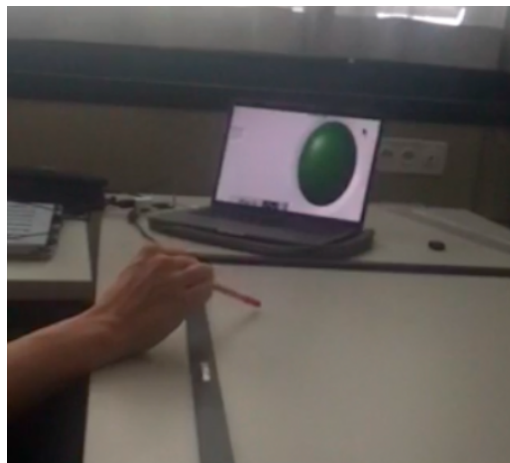


FIGURE 3 – Moment où l'on entre dans le champs de vision

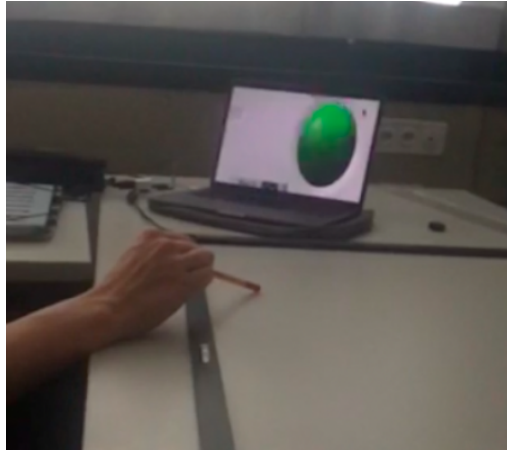


FIGURE 4 – Moment où l'ordinateur détecte l'interaction

2.4.4 Résolution

La résolution du système a été trouvée en effectuant des déplacements très lents dans plusieurs directions. On trouve une résolution de $0.6mm$, ce qui est une valeur satisfaisante pour notre application, le diamètre de notre balle étant de $35mm$, et la taille du terrain de l'ordre du mètre.

2.5 Choix d'implémentation

Pour implémenter le système, nous nous trouvons face à plusieurs contraintes.

Contraintes physiques et limites Pour que le système soit efficace, il doit être implémenté au niveau du sol du terrain. Des collisions de la balle à grande vitesse avec les capteurs sont possibles. Le système ayant déjà une protection métallique, sa résistance a été testée en tirant le plus fort possible contre le système. Il n'a pas souffert d'une égratignure. Un système de renforcement supplémentaire n'est donc pas jugé nécessaire.



FIGURE 5 – Situation où la balle n'est pas au sol

Balle qui vole Une autre contrainte est la géométrie du Babyfoot. Le système est implémenté au niveau du sol, et ne détecte pas un objet s'il se trouve à plus de $5mm$ de hauteur. Le modèle actuel, un Garlando, a la particularité d'avoir les bords relevés. Il s'ensuit que la balle atteint souvent une hauteur de plus de $5mm$, surtout lorsque la balle est envoyée contre un des bords relevés. Dans ces conditions, le système de vision ne reconnaîtra plus la balle. Nous avons remarqué que la balle a tendance à voler lorsqu'elle touche l'un de ces bords, mais



FIGURE 6 – Babyfoot de type Garlando avec bords et coins relevés

un tir droit qui ne rencontre pas d'obstacle reste quasiment collé, et est donc détectable par la vision IR.

Pour une utilisation optimale du système, il faudrait l'implémenter sur Babyfoot ayant un terrain parfaitement plat. Le babyfoot américain Tornado Tournament 3000 serait un choix judicieux pour implémenter le système IR.

Note Le système devra être implémenté de façon à ne pas gêner le jeu. une partie des capteurs devra être installée derrière la ligne de but, afin que le système n'arrête pas la balle lors d'un tir. En faisant cela, un compteur de points précis pourra être implémenté. En effet, il sera possible de détecter quand la balle aura franchi la ligne du but. De plus, nous pouvons imaginer de changer la structure rigide en plastique autour des lumières IR par une structure plus flexible, dans le même matériau que les lampes qui illuminent actuellement le terrain. Cela aura pour effet de moins obstruer le mouvement de la balle sur les côtés.

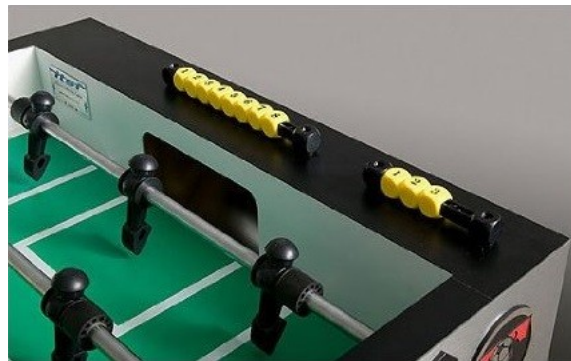


FIGURE 7 – Tornado 3000 avec terrain entièrement plat

Le babyfoot de type Tornado demanderait de modifier un peu la stratégie du babyfoot. Il est équipé de 3 joueurs au lieu d'un sur la barre du gardien, pour rendre les coins accessibles. Sur la plupart des autres modèles, au moins les coins du terrain sont relevés, pour que la balle roule en direction du gardien ou du défenseur, lorsqu'elle se trouve dans une zone de coin.

Contraintes techniques/limitations Avec la latence obtenue lors de nos tests, une implémentation du système est impensable. En effet, pour un tir à $10m/s$, $40ms$ de latence correspondent à une erreur sur la position de $40cm$, ce qui équivaut presque à la moitié de la taille du terrain.

Conclusion Le système testé possède une excellente résolution, ainsi qu'une framerate optimale pour son application sur un babyfoot. Si le problème de latence peut être réglé, l'application sur un babyfoot plat de type Tornado peut être effectuée, et remplacerait avantageusement le système de la caméra actuel.

3 Stratégie

La stratégie est, pour le babyfoot, tout ce qui repose de l'utilisation des informations acquises par la vision pour prendre les bonnes décisions afin de pouvoir marquer des buts efficacement, et ne pas en encaisser.

3.1 Tir croisé

Pour effectuer un tir croisé, l'option la plus simple à implémenter est de tirer la balle, tout en étant légèrement décalé par rapport à celle-ci.

Importance du tir croisé La maîtrise du tir croisé est nécessaire pour pouvoir tirer en direction du but, quelle que soit la position de la balle. Ainsi, le ratio tirs/but augmentera très probablement, sachant que le ratio tirs/tirs cadrés sera proche de 1.

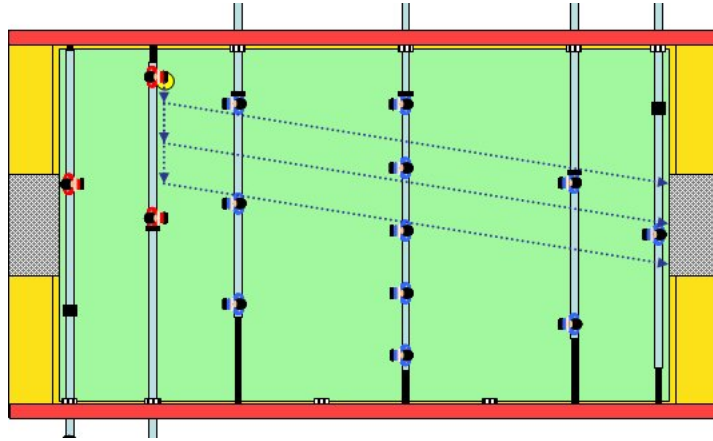


FIGURE 8 – Tir croisé

Comme le but est placé au centre, et compose un tiers de la largeur du babyfoot, il suffit de trouver un angle de tir pour chaque rangée de joueurs. Ainsi, chaque tir effectué sera cadré, c'est à dire que la balle ira en direction du but. Ce système est moins intelligent et contrôlable qu'un système de prédiction d'angle de tir, mais est déjà assez puissant pour considérablement améliorer le jeu du babyfoot. De plus, avec la résolution actuelle du système de vision, qui est de 1.6mm, une erreur de 10 à 15 degrés est observée. L'implémentation d'un algorithme capable de tirer avec n'importe quel angle donné ne sera judicieux qu'au moment où un système de vision possédant une meilleure résolution sera disponible.

Mesures Pour trouver la position optimale du joueur par rapport à la balle, des mesures statiques ont été effectuées. Pour cela, la balle est tout d'abord placée de façon à ce qu'un tir soit possible, puis l'algorithme existant est activé, afin que le joueur se place devant la balle (sans tirer). Ensuite, la position des joueurs est changée manuellement afin de décaler le joueur par rapport à la balle. Finalement, un tir est effectué.

L'offset optimal trouvé pour un tir depuis le rang des défenseurs est de 13mm.

L'offset optimal pour un tir depuis le rang des milieux de terrain est de 16mm.

L'offset optimal pour un tir des attaquants est de 20mm.

Note Le gardien n'a pas besoin d'effectuer des tirs croisés. En effet, il ne peut que se déplacer dans le cadre de son but, qui se trouve exactement en face du but adverse. Ainsi, tout tir droit du gardien sera cadré.

Implémentation Pour effectuer un tir croisé, il suffit de prendre l'algorithme existant qui effectue des tirs droits, et y implémenter l'offset issu des mesures. Les mesures faites ont été communiquées aux étudiants de Master travaillant plus profondément sur la stratégie, qui se chargeront de les implémenter.

3.2 Placement des défenseurs

Lorsque que le joueur humain a la balle, l'instruction est de se mettre devant la balle, avec tous les joueurs. Ce n'est pas très astucieux. En effet, si le joueur humain est assez rapide pour franchir cette barrière, la voie est libre en direction du but.

Mesures Afin de développer une meilleure stratégie de défense, il faut, en premier lieu, mesurer l'espacement optimal entre deux joueurs de rang successifs afin de couvrir une surface maximale, sans que la balle puisse passer entre les joueurs, pour un tir droit. On trouve un espacement optimal de $55mm$ entre deux joueurs.

Implémentation Pour implémenter cette stratégie de défense basique, l'algorithme actuel doit être légèrement modifié. Pour assurer une défense efficace, le joueur le plus proche de la balle doit rester devant la balle. l'offset calculé doit être appliqué aux joueurs du deuxième rang le plus proche de la balle.

4 Ouvertures pour de futurs projets

4.1 Implémentation mécanique

L'implémentation mécanique du système de vision sera une étape importante dans la continuation de ce projet. En effet, le système devra être implémenté de sorte à ce qu'aucune interférence avec le jeu soit présente.

4.2 Lecture des données

Pour que le système soit efficace, il faut réduire la latence au possible. Pour essayer de diminuer la latence, la marche à suivre est d'essayer d'accéder aux données directement depuis l'USB sans passer par le driver qui doit surement ralentir le processus d'acquisition, ou mieux encore, directement comprendre comment les données sont traités à l'intérieur du "IR touch Frame" pour essayer d'accélérer et avoir une latence la plus techniquement basse possible

4.3 Deep Learning

Une ouverture intéressante, surtout pour les stratégies défensives, est le deep learning. L'analyse de milliers de parties de babyfoot permettrait de connaître les trajectoires les plus courantes des balles de babyfoot, et permettrait de construire des modèles pour connaître la trajectoire de la balle, avant même qu'elle soit tirée. En effet, l'analyse du mouvement pre-tir de l'adversaire permettra de connaître son intention. D'un autre côté, l'analyse du comportement humain permettra de copier ses mouvements, et de les optimiser.

5 Sources

- [1] B. Morriset and R. Graf, "Projet d'ingénierie simultanée, Babyfoot Strategy," Printemps 2016.
- [2] L. Brusatin, "Ball positioning via laser," Automne 2013.