



CyberP4

Présentation du projet

Version 1.0- 19/09/2021
Auteur : Eric PASCUAL (EP)
Association POBOT- <https://www.pobot.org>

Abstract

Ce document présente le projet CyberP4 en termes d'objectifs, de caractéristiques techniques et de suggestions d'approche pour sa réalisation.

Il propose également une décomposition des travaux en sous-projets réalisables en parallèle, certains pouvant éventuellement faire l'objet de stages.

Historique des révisions

Revision	Date	Author(s)	Description
0.1	12/09/2021	EP	premier draft
1.0	19/09/2021	EP	version publique

1 Présentation

1.1 Le pitch

L'objectif est de réaliser un dispositif tangible permettant à un joueur humain d'affronter la machine pour jouer au célèbre jeu Puissance 4. Le côté tangible consiste à ne pas utiliser de solution numérique telle qu'une animation graphique sur ordinateur, afin de donner une certaine originalité au résultat.

Une première version d'un tel dispositif a été réalisée il y a quelques années par POBOT et est régulièrement utilisée pour des animations comme la Fête de la Science.



Figure 1: Puissance 4 à la sauce POBOT

Son tableau de jeu est constitué de LEDs RGB¹ qui représentent les positions des jetons sur le tableau et reproduisent également leur chute à l'aide d'animations lumineuses.

Le projet CyberP4 ambitionne d'utiliser le vrai plateau et ses jetons de manière à conserver un aspect authentique au dispositif, mais également à montrer comment des objets existants peuvent être détournés ou adaptés pour leur donner une nouvelle destination. La manipulation des jetons est confiée à un mécanisme robotique, conférant ainsi un côté plus spectaculaire au démonstrateur.

¹NeoPixel pour être précis



Figure 2: Le jeu bien connu

Par ailleurs, une version de beaucoup plus grande taille est envisagée dans le futur, de manière à satisfaire les contraintes d'animations à forte affluence. Elle se baserait sur les versions de jardin qui existent pour le jeu.



Figure 3: Puissance 4 grand format

1.2 Le projet

Le présent projet constitue donc une preuve de concept et un prototype pour cette future version, qui capitaliserait sur les solutions utilisées et tirerait partie de l'expérience acquise.

Par ailleurs, et quelle que soit la version concernée, le dispositif doit pouvoir fonctionner selon deux modes :

- **autonome**, en utilisant une intelligence de jeu embarquée dans son propre système de contrôle
- **connecté**, en servant de périphérique bi-directionnel à un système séparé et responsable du calcul de la stratégie de jeu, et en assurant alors les rôles suivants:
 - périphérique d'entrée fournissant la situation courante de la partie,
 - périphérique de sortie exécutant les mouvements calculés par le système de stratégie.

La version connectée doit proposer une interface suffisamment standard de manière à pouvoir être utilisée facilement quelles que soient les technologies employées pour réaliser le système de calcul

de stratégie, et de manière plus générale, le client connecté. On peut effectivement imaginer un cas d'utilisation où le joueur humain est à distance et interagit au travers d'une application Web par exemple.

1.3 Les contraintes

L'ensemble du dispositif doit être facile à transporter et à mettre oeuvre. Il ne doit pas dépendre de moyens externes supposés être fournis par l'utilisateur (smartphone par exemple).

On s'orientera donc vers des supports tels que la Raspberry Pi pour le sous-système de supervision, épaulée si nécessaire par des cartes supportant les fonctions à forte contrainte temps réel (ex: Arduino, ESP32...).

A noter qu'il existe une offre importante en cartes d'extension pour la Raspberry Pi capables de prendre en charge ce genre de contrainte (ex: contrôleur multi-canaux pour servo-moteurs R/C basés autour de circuits générateurs de PWM tels que le PCA9685). L'utilisateur de ce type d'extension permet de s'affranchir de cartes programmables esclaves.

2 Les différents problèmes à résoudre

L'aboutissement à un dispositif opérationnel implique de résoudre un certain nombre de problèmes, dont les suivants:

- détecter lorsque l'adversaire a joué son coup
- reconnaître la situation de jeu courante
- calculer le coup à jouer
- manipuler les jetons pour les déposer dans la colonne choisie par la stratégie de jeu
- supporter des fonctions de contrôle à distance

Une fois les solutions choisies, viennent les problèmes liés à la construction:

- fabriquer du mécanisme robotique
- l'intégrer avec le plateau de jeu
- réaliser le système de reconnaissance de la situation de jeu
- implémenter une stratégie de jeu
- programmer l'architecture système et le contrôle commande du mécanisme robotique

3 Décomposition en sous-projets

Nous essayons ici de décomposer le sous-projet de manière à en distribuer les tâches et identifier celle pouvant faire l'objet de proposition de projets étudiant. Ces sous-projets ne sont pas listés dans un ordre particulier et l'énumération présentée ne se veut pas exhaustive.

3.1 Mécanisme de dépose des jetons

Il permet à la machine de "jouer" son coup en introduisant un jeton dans la colonne sélectionnée par la stratégie de jeu.

Plusieurs options sont possibles, certaines étant présentées ci-après pour inspiration.

3.1.1 Pince mobile

Une pince actionnée par un servo-moteur telle qu'illustrée en figure 4 et montée sur un dispositif mobile peut être utilisée à cet effet.



Figure 4: Un exemple de pince robotique

Ce type de mécanisme est disponible dans des dimensions très variées et pour des prix modiques. Sa commande est de plus très simple car faisant appel aux signaux standard de contrôle des servo-moteurs de modélisme².

Le déplacement de la pince au-dessus du plateau de jeu peu être confié à un système de translation, pouvant être réalisé par adaptation d'un mécanisme de tête d'impression récupéré sur une imprimante à jet d'encre ou de déplacement du système optique d'un scanner de bureau.

On dispose en effet dans les deux cas de manière déjà assemblée:

- d'un chariot se déplaçant sur un guidage rectiligne
- d'un entraînement par moteur pas à pas

Le chariot peut être alors modifié afin de servir de base pour la fixation du manipulateur de jetons. Le contrôle du moteur pas à pas peut être confié à des solutions pouvant aller d'un réseau de transistors de puissance à un contrôleur intelligent tel que le L6470 (ou dSPIN)³, en passant par des ponts en H intégrés tels que le L298 selon l'objectif pédagogique visé.

3.1.2 Distributeurs fixes

Des distributeurs de jetons sont installés au-dessus du plateau.

²impulsion à fréquence fixe et de largeur comprise entre environ 0.5 ms et 1.5 ms

³<https://www.st.com/en/motor-drivers/l6470.html>

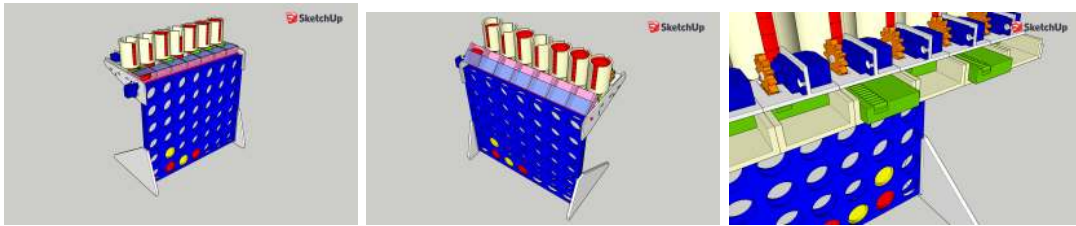


Figure 5: Un exemple de distributeur de jetons

Cette option implique la conception de pièces spécifiques et leur réalisation en impression 3D comme celles illustrées en figure 6.

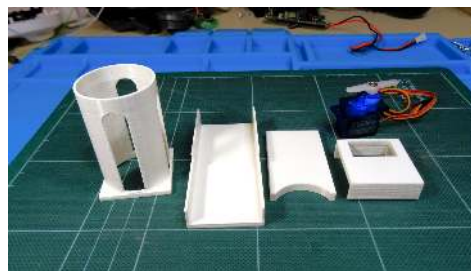


Figure 6: Quelques pièces du distributeur

Son avantage est de ne pas recourir à un dispositif mécanique mobile et être ainsi assez simple de mise en oeuvre.

Elle peut par contre présenter quelques difficultés à transposer à une échelle plus grande, mais cela ne doit pas entrer en ligne de compte dans le contexte du projet CyberP4.

3.1.3 Distributeur central

Ce sous-ensemble est requis dans le cadre de l'utilisation d'une pince mobile.

Il s'agit ici de trouver une solution pour que la pince puisse se saisir du prochain jeton à déposer. De nombreuses stratégies sont possibles, mais l'emcombrement résultant doit être pris en considération afin de rester dans la contrainte d'un dispositif le plus facile possible à conditionner et à transporter.

3.2 Analyse du plateau de jeu

Cette fonction a un rôle double:

- identifier la situation actuelle du jeu en termes de distribution des jetons des joueurs sur les positions de jeu
- détecter le moment où l'adversaire a joué afin de passer au tour de la machine

Plusieurs approches sont possibles, quelques unes étant mentionnées à titre d'information, mais sans que cela ne constitue une liste exhaustive. Les étudiants pourront faire une évaluation

comparative de l'ensemble des méthodes identifiées afin de choisir celle qui sera retenue pour la réalisation.

L'attention est attirée sur le fait que la détection fournie par le dispositif retenu doit être suffisamment robuste pour ne pas être tributaire de conditions ambiantes spécifiques (luminosité du lieu, nature de l'arrière-plan...) et garantir un fonctionnement fiable dans des contextes perturbés telles que des événements publics (ex: Fête de la Science).

Quelle que soit la solution matérielle retenue, le logiciel développé en support devra fournir les deux informations indiquées plus haut.

3.2.1 Matrice de capteurs

Une matrice de capteurs de couleur est positionnée afin de fournir l'indication de statut de chaque position de jeu en termes d'occupation (vide, couleur 1, couleur 2). Son scan périodique permet de détecter les changements de situation de jeu.

3.2.2 Scan du plateau

Au lieu d'une matrice complète, une unique ligne de capteurs est utilisée et est déplacée selon un des axes du plateau pour en analyser les positions de jeu.

3.2.3 Détection de chute des jetons

Une unique ligne de capteurs est positionnée au niveau de la rangée supérieure de jeton. Elle renseigne alors sur le moment où un jeton a été déposé et sur sa couleur.

La difficulté ici est d'être capable de détecter la couleur suffisamment rapidement et de manière fiable compte tenu de la vitesse de chute des jetons. Elle introduit de plus un risque de désynchronisation de la situation captée par rapport à la situation réelle en cas de détection manquée ou erronée.

3.2.4 Analyse vidéo

Le plateau est filmé en permanence par une caméra dont les images sont analysées pour détecter tout changement et identifier les positions de jeu.

Cette solution est la plus "confortable" car n'introduisant pas de contrainte temps réel forte. Elle pose par contre les habituels problèmes de sensibilité à l'ambiance lumineuse et à ses changements dans le temps, ainsi qu'à tous les changements d'arrière plan créés par un public en mouvement par exemple lors de manifestations publiques.

Elle rend également le dispositif un peu plus complexe à mettre en oeuvre du fait du positionnement de la caméra devant être précis et stable, sans oublier les risques qu'elle soit déplacée par un joueur ou un personne a proximité.

3.3 Système de supervision

Il a plusieurs fonctions:

- coordonner les actionneurs en fonction des coups à jouer

- gérer le comportement réactif du système en répondant à des événements tels que "coup joué par l'adversaire"
- acquérir la situation courante de la partie fournie par le sous-système d'analyse
- fournir une API réseau (ex. REST) permettant au sous-système implémentant la stratégie de jeu de récupérer la situation courante et de communiquer le coup à jouer

L'impératif placé sur la mise à disposition d'une API REST est de permettre au dispositif de fonctionner aussi bien en mode autonome que connecté à une "intelligence" extérieure ou à une solution de contrôle à distance.

Le cas du fonctionnement autonome n'est ainsi qu'un cas particulier de l'architecture distribuée, dans lequel l'intelligence de jeu est assurée par un sous-système indépendant se connectant en localhost sur le superviseur.

La même approche peut être utilisée pour fournir une interface utilisateur locale permettant une utilisation du jeu en mode humain contre humain.

3.4 Intelligence de jeu

Ce sous-système est responsable du calcul du coup suivant et de sa communication au superviseur pour exécution par le mécanisme de dépose. Il utilise la situation courante du jeu fournie par le sous-système d'analyse.

Plusieurs approches sont possibles à ce niveau, y compris basées sur l'IA et le machine learning ou les algorithmes génétiques par exemple. A titre d'exemple, la version actuelle réalisée par POBOT est basée sur un algorithme MinMax avec une profondeur d'analyse de 4 coups.