

Réf. : Stage 2022
Sujet : Caméra Thermique
Version: V00

Auteurs : H. MILLERET, X. RODRIGUEZ,
Fonction : Référent métier cartes / SW

Date : 28/07/2022
Signature : HMI / XRO

1 Présentation

1.1 Sujet de stage

L'objectif du stage Caméra Thermique est de concevoir et de réaliser toute l'électronique nécessaire à une caméra thermique avec écran intégré et fonctionnant sur batterie.

Les parties à concevoir et à réaliser sont :

- L'électronique de la caméra comprenant :
 - Le capteur thermique
 - Optionnellement un capteur non thermique (lumière visible)
 - La chaîne de traitement du signal issue du/des capteur(s)
 - L'unité de calcul (microcontrôleur)
 - L'affichage sur l'écran intégré
 - Une connexion USB de monitoring et report de l'image
 - La batterie et son rechargement
- Le logiciel embarqué gérant :
 - Le(s) capteur(s)
 - L'affichage
 - Une interface utilisateur ultra-minimale
 - L'extrapolation de l'image pour les mesures de température
- Le logiciel déporté qui récupère et envoie l'image et la température sur un broker MQTT

Egalement, l'aspect mécanique devra être étudié afin de pouvoir s'intégrer dans un boîtier du commerce.

Pour cela, un groupe de 2 stagiaires est prévu. Les stagiaires devront travailler en équipe. Chaque stagiaire travaillera sur une partie différente, mais devra comprendre la partie de l'autre.

Des ingénieurs expérimentés d'ELSYS-Design assurent le suivi technique des stagiaires. Ces ingénieurs veilleront tout particulièrement à :

- Orienter la conception pour qu'elle soit réalisable dans le temps imparti
- Assurer la formation technique des stagiaires
- Valider le respect des règles de conception usuelles
- Garantir le bon déroulement du stage

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

ELSYS-Design s'attachera à vérifier que les conceptions sont maîtrisées. Pour cela, l'encadrement technique veillera à l'argumentaire justifiant les choix de conception et cherchera à les mettre en contradiction.

Egalement, l'encadrement technique s'assurera que le planning est respecté par chacun des membres de l'équipe.

1.2 Objectifs de compétences

Les stagiaires devront acquérir des compétences orientées sur différents métiers :

- Le métier du développement de la carte électronique :
 - L'architecture de système électronique
 - Le choix des composants
 - La saisie de schéma
 - Le routage et la fabrication de cartes
 - Le suivi de routage
 - Les tests en laboratoire
- Le métier du développement du logiciel embarqué :
 - La validation de l'adéquation d'un microcontrôleur/processeur avec le besoin.
 - Les outils de programmation et débogage de microcontrôleur/processeur
 - La sélection des bibliothèques utilisables
 - Le développement de drivers
 - L'implémentation d'algorithmes
 - L'intégration sur carte
 - Les tests en laboratoire

En plus, chaque membre devra acquérir des compétences communes sur :

- Le travail en équipe et la communication interne au projet
- La responsabilité dans l'architecture et le choix des composantes du système
- Les règles des bonnes pratiques de la conception
- La rédaction de documents
- La gestion de projet
- La vie en entreprise et ses règles

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

1.3 Objectif à atteindre

L'objectif premier est de faire fonctionner la caméra thermique sur batterie avec les réalisations des stagiaires, le second objectif sera de valider le produit de manière entièrement automatisé. Pour cela, à la fin du stage, une démonstration sera organisée avec les ingénieurs et les responsables d'ELSYS-Design.

Une fois les objectifs principaux atteints, les stagiaires pourront proposer diverses améliorations telles que :

- Les algorithmes à appliquer sur la vidéo IR
- Déporter les images sur un PC via l'USB + enregistrement
- Génération d'une mire avec dégradé de niveau et avec un élément mobile
- ...

Ces améliorations ne doivent en aucun cas détourner les stagiaires de l'objectif à atteindre.

Ce sujet de stage doit être considéré comme un futur équipement du laboratoire d'ELSYS-Design. En effet, ce genre d'instrument est commun pour un laboratoire et ELSYS-Design souhaite élargir la gamme de ses appareils disponibles. Aussi, il est impératif pour les stagiaires d'orienter le développement vers un produit fini et non un prototype.

Cela signifie que l'encadrement d'ELSYS-Design s'attachera tout particulièrement à vérifier :

- Le fonctionnement dans toutes les conditions d'utilisation (température, version du PC/OS, ...)
- La robustesse du produit (utilisation en dehors des conditions normales)
- La sécurité du produit
- L'absence de défaut (pas de bug)

1.4 Historique du projet

Ce projet de caméra thermique a déjà été proposé comme sujet de stage en 2020 mais n'a pas atteint son objectif. Il est de plus précisé que le stage 2020 exigeait l'utilisation d'un softcore sur FPGA. Cette exigence n'est pas reportée cette année.

Aussi, vu l'historique, il est demandé de réutiliser certains composants déjà achetés pour le stage 2020. Les composants à réutiliser sont les suivant :

Capteur thermique, référence [500-0763-01](#) de chez FLIR

Ecran LCD tactile, référence [MIKROE-2163](#) de chez MIKROE

L'historique du projet 2020 est consultable sur

[\\s-riesling\Elsys\Pole_Forfait\3-PROJETS\ELSYS\PROJETS\19-9911-CAMERA-THERMIQUE](#)

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

2 Aspect technique

2.1 Matériel fourni

ELSYS-Design fourni aux stagiaires le matériel de bureau nécessaire à la bonne exécution du stage.

Les outils de CAO, implémentation, simulation, compilation, ... seront installés par les responsables techniques au moment nécessaire ou sur demande justifiée du stagiaire.

Une carte d'évaluation pourra être achetée si nécessaire dès le début du stage.

Enfin, les stagiaires, une fois habilité électriquement, ont librement accès au laboratoire et aux équipements de mesures nécessaires pour la validation. Il est juste demandé de prendre soin du matériel et de prévenir son responsable en cas de toutes entrées et sorties du matériel depuis la remise.

Les stagiaires veilleront à respecter et sans dérogation les règles de sécurité listées sous :

http://alfresco:8080/share/page/site/bureau-dtudes/wiki-page?title=Gestion_des_Laboratoires

2.2 Spécifications du produit

Mécaniquement, la réalisation doit être intégrable (batterie comprise) dans un boîtier du commerce de taille raisonnable (disons 100x200x50mm au maximum).

Par exemple, on pourra choisir la série [1553TT](#) incluant optionnellement un compartiment pour batteries de chez Hammond Manufacturing.

La mécanique doit laisser apparaître :

- Le(s) capteur(s)
- L'écran
- Une connexion USB pour la recharge de la batterie et l'interface vers le PC
- Un ou plusieurs indicateurs visuels (LEDs) indiquant, a minima, la mise en fonctionnement, l'état de charge de la batterie, la recharge en cours, la connexion avec le PC
- Un bouton des modes veille/éteint et sous tension.

Les spécifications techniques concernant la batterie sont les suivantes :

- Autonomie en fonctionnement de 3h
- Autonomie en fonctionnement de 2.5h après 5 ans d'utilisation
- Recharge complète de la batterie en 5h à partir d'une charge initiale de 10%
- Rechargement par connexion USB de PC (5V, ~500mA max)
- Autonomie en veille/éteint de 6 mois

Les spécifications techniques concernant le produit sont les suivantes :

- Bouton On/Off pour la mise en fonctionnement/extinction du produit
- Rechargement de la batterie quel que soit l'état du bouton On/Off
- Indicateurs visuels (LEDs) indiquant, a minima, la mise en fonctionnement, l'état de charge de la batterie, la recharge en cours, la connexion avec le PC.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

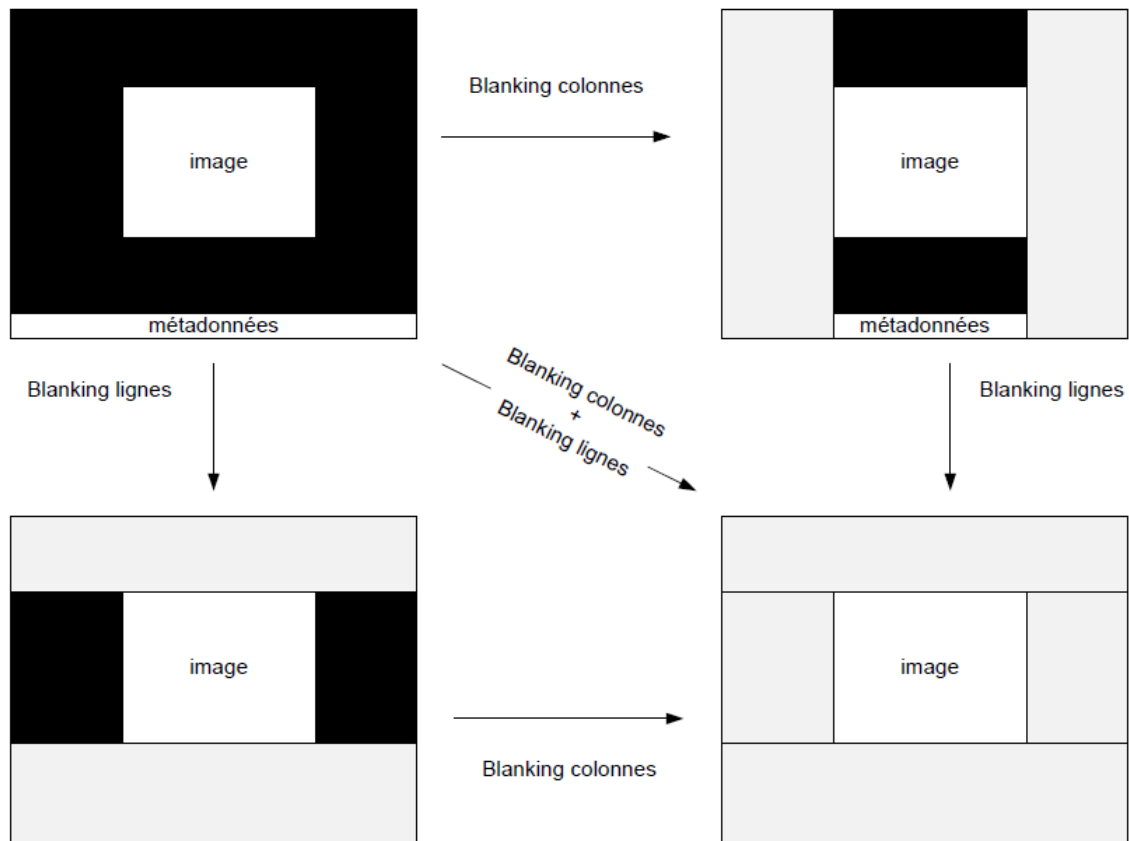
- Capteur thermique :
 - La référence [500-0763-01](#) de chez FLIR Lepton est à réutiliser
 - Cadencement de 5 images/s min
- Capteur non thermique (option)
 - Ajout d'un capteur d'image standard pointant sur la même zone que le capteur thermique
 - Prise d'image synchrone thermique/non-thermique
 - Le capteur non thermique doit permettre de visualiser la zone analysée et d'aider à la reconnaissance en cas de contraste thermique faible.
- Ecran/Affichage :
 - La référence [MIKROE-2163](#) de chez MIKROE est à réutiliser
 - Affichage de l'image du capteur et de la correspondance entre couleur et température
 - Notification du point central de l'image et de sa température
 - Sauvegarde de l'image courante en mémoire non volatile (Carte SD)
 - L'état de charge de la batterie
 - La date et l'heure (à garder à jour tant que la batterie le permet)
 - Unité de température °C/°F
 - La gestion des images en mémoire non volatile (Carte SD en FAT32)
- Information déportée sur PC :
 - Renvoi à minima de la température
 - Interface driver sur Linux
 - Connexion via bus USB de préférence (USBTMC), sinon ETH possible.
- Environnement :
 - Température de fonctionnement entre 0°C et 50°C
 - Température de stockage entre -25°C et 80°C
 - Batterie sans plomb
- Divers :
 - Sauvegarde de 50 images min en mémoire non volatile
 - Dérive de l'horloge interne : 30s max en 1an

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

Optionnellement des traitements vidéo pourront être réalisés, Les effets de ces traitements vidéo sont décrits par la figure suivante :



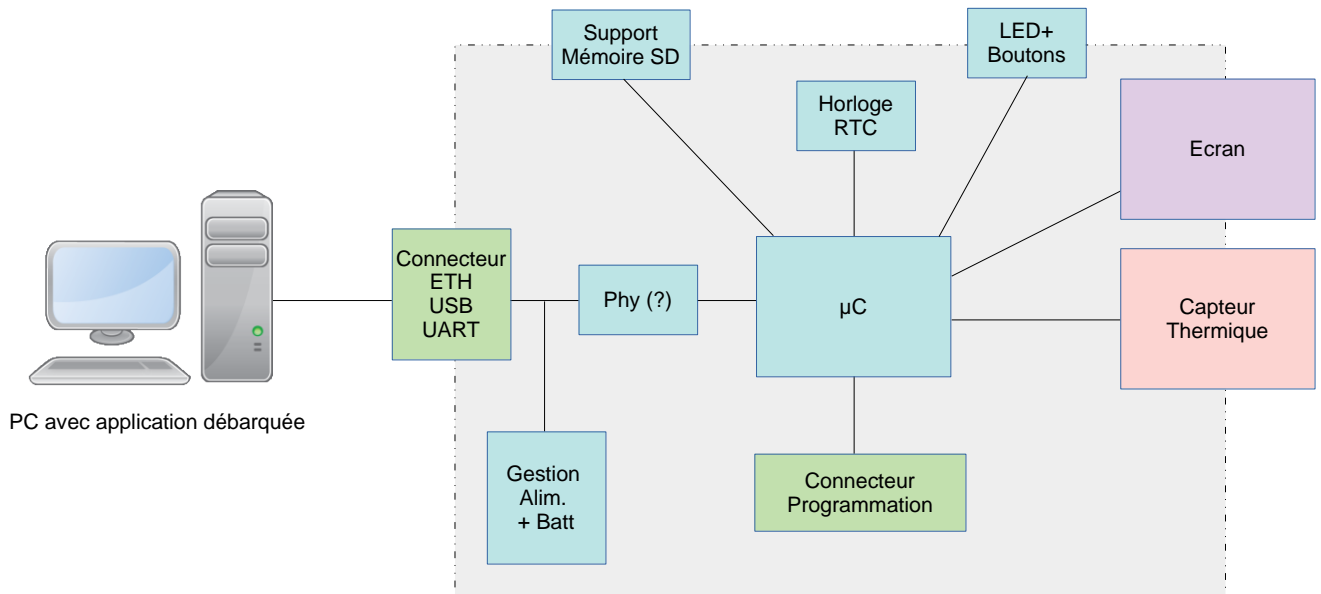
Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

2.3 Synoptique

La figure suivante présente un synoptique simplifié de la réalisation :



2.4 Choix des composants

Impérativement, pour des raisons de facilité de routage, les composants devront être choisis en respectant les critères suivants:

- Si boîtier BGA, pitch 0.8mm minimum
- Si boîtier de type QFN ou QFP, pitch 0.5mm minimum

Ces contraintes permettent de limiter la classe de gravure du PCB et donc de limiter son coût de fabrication. Le budget alloué à ce projet suppose une classe de gravure de 4 (isolation de 200µm).

2.5 Choix du microprocesseur et de sa carte d'évaluation

Le microprocesseur devra être choisi en commun entre les deux stagiaires en prenant en compte :

- La disponibilité d'une carte d'évaluation permettant de valider une partie du développement SW avant l'arrivée de la carte finale.
- Ses ressources et interfaces disponibles. Tout particulièrement, la taille mémoire disponible devra être suffisante pour la gestion des images et des menus. Autant que possible, l'utilisation d'une RAM externe est à éviter.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

Il est précisé que l'écran [MIKROE-2163](#) de chez MIKROE embarque un contrôleur graphique ([FT801](#) de chez FTDI) pour lequel des librairies sont disponibles pour en faciliter sa gestion. L'occupation mémoire de ces librairies sera à prendre en compte.

Egalement, il est précisé que des cartes d'adaptation pour l'écran et la caméra thermique sont déjà disponibles. Astucieusement, une carte d'évaluation acceptant directement le format des cartes d'adaptation simplifiera le montage. Au défaut, une connexion filaire soignée devra être faite.

2.6 Pénurie de composants






La période actuelle nous montre une pénurie sévère de composants. Il est aujourd'hui courant d'avoir un temps d'approvisionnement d'un composant supérieur à 1 an. Ce délai n'est évidemment pas compatible avec la durée de votre stage.

Aussi, un effort particulier est demandé pour ne sélectionner que des composants disponibles immédiatement ou à court terme. Pour participer à cet effort, ELSYS-Design accepte de signer au plus vite (et donc de commander) toute demande d'achat de composants respectant la procédure en vigueur disponible sur :

http://alfresco:8080/share/page/site/bureau-dtudes/wiki-page?title=Demandes_d%27Achats

Il est toutefois demandé de mutualiser ou grouper l'achat de composants afin de dépasser le minimum d'achat (généralement 50€) permettant d'éviter les frais de livraison.

Pour information, voici les délais d'approvisionnements constatés au moment de la rédaction de ce cahier des charges sur les microcontrôleurs à base de processeur ARM :

MICROCONTROLLER ARM CORTEX		
Supplier	Avg. Lead Time (in wks)	Trends
STMICROELECTRONICS CORPORATION	51.73	
NXP SEMICONDUCTOR CORPORATION	51.48	
MICROCHIP CORPORATION	51.09	
TEXAS INSTRUMENTS CORPORATION	32.22	
XILINX INC	52	

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

A minima, il est demandé de garantir la disponibilité des composants au moment de l'assemblage de la carte. Sinon, au moment de la réception de la carte (le câblage manuel du composant sans endommager la carte devra alors être assuré par les stagiaires).

2.7 Mécanique

La conception mécanique fait partie du travail demandé. Pour cela, les stagiaires pourront demander la participation d'ingénieurs de la société Mécagine.

Pour le stage, il est juste demandé de garantir l'insertion et le bon assemblage de la carte dans son boîtier. L'aspect mécanique devra être étudié mais la mise en plan de la découpe du boîtier n'est pas demandée.

Si nécessaire, des pièces pourront être prototypées à l'aide de l'imprimante 3D.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

3 Organisation

La gestion du projet est sous la responsabilité des stagiaires, encadrée par un chef de projet confirmé d'ELSYS-Design. Afin de garantir un suivi technique et non technique du projet, il est demandé aux stagiaires d'assurer la mise à jour des documents suivants :

- Planning
- Tableau de bord simplifié comprenant :
 - Les intervenants du projet
 - La liste des documents à fournir et les dates de livraison prévisionnelles et effectives
 - Le suivi des jalons de développement
 - Le suivi des dépenses

De plus, il est demandé de respecter les étapes de développement du cycle en V :

- Spécifications carte et logicielle
- Conception de l'architecture logicielle
- Conception détaillée carte et logicielle
- Tests unitaires carte et logiciel
- Tests d'intégration
- Tests de validation

Les stagiaires pourront organiser leur projet à leur convenance tant que le cadre du planning et du cycle en V sont respectés.

Egalement, un espace réseau est mis à disposition du projet avec une arborescence standard à respecter. Il est demandé de poser sur cet espace tous les documents nécessaires et générés par le projet. Les ordinateurs mis à votre disposition ne sont pas sauvegardés. Seuls les espaces sur le réseau le sont. Aussi, il est impératif de les utiliser pour le travail en cours.

Le répertoire .\12-UTILISATEURS est un espace qui est réservé et que les stagiaires pourront organiser à leur convenance.

De plus, une base dédiée à l'outil de gestion de versions [SVN](#) (utilisé couramment avec son [interface graphique](#)) est mise à disposition. Pour les stagiaires SW, il est demandé d'utiliser cet outil pour la gestion du code source.

SVN peut également être utilisé comme outil de sauvegarde et d'archivage de la documentation liée au projet.

Une formation à SVN présentant l'outil et les règles de bonnes pratiques est prévue en début de stage.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

4 Travail demandé

Pour tous les métiers, les travaux suivants sont demandés :

- Compréhension du besoin
- Analyse des difficultés
- Propositions d'architecture
- Recherches de solutions

Spécifiquement pour le métier de la carte électronique, les travaux suivants sont demandés :

- La rédaction de la spécification technique de la carte électronique sous forme d'exigences
- Le choix des composants
- Le dessin du synoptique détaillé
- La validation des solutions par simulation
- La réalisation du schéma électronique
- La rédaction d'un document de conception
- L'organisation d'une revue de schéma et de conception
- La rédaction d'un document d'instructions de routage
- Le suivi du routage réalisé par le sous-traitant (routage externalisé)
- La rédaction du plan de tests unitaires
- La rédaction du plan de tests d'intégration et de validation (en commun avec les autres métiers)
- La mise au point au laboratoire
- La rédaction du rapport de validation des tests
- L'organisation de la démonstration finale (en commun avec les autres métiers)

Spécifiquement pour le métier SW, les travaux suivants sont demandés :

- La rédaction des features Gherkin
- La rédaction d'un document d'architecture
- La validation du choix du processeur
- Le codage
- La mise au point sur carte d'évaluation (si nécessaire)
- L'intégration sur la carte finale
- L'organisation de la démonstration finale (en commun avec les autres métiers)

Les différentes documentations devront s'attacher à justifier et argumenter les choix techniques qui ont été faits.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

5 **Planning**

Un planning initial de développement devra être fait dès le début du stage.

Le planning carte doit comporter :

- Une revue de schéma
- Une revue de routage
- Des revues de documentation (architecture, conception, validation)
- Une recette

De plus, les hypothèses suivantes devront être validées :

- Le routage de la carte est de 10 jours ouvrés (2 semaines)
- La fabrication de la carte est de 10 jours ouvrés (2 semaines)
- L'assemblage de la carte est de 10 jours ouvrés (2 semaines)
- La mise au point au laboratoire est de 20 jours ouvrés (1 mois) minimum pour tous les métiers

Vue ces hypothèses, la revue de schéma devra avoir lieu au moins 2.5 mois avant la fin du stage.

De plus, l'assemblage des cartes ne pourra pas avoir lieu au mois d'août (fermeture pour maintenance des sous-traitants). Le planning devra tenir compte de cette contrainte.

Le planning logiciel doit être découpé en 12 sprints de 2 semaines :

Premier Sprint Imposé

- Installation + prise de connaissances
- Choix Techniques et Rédaction Architecture Préliminaire
- Rédaction du planning préliminaire
- Rédaction des « Features Gherkin » (Spécification + Scénario(s) de test préliminaire)
- Validation de l'architecture et des features

Le planning préliminaire demandé doit faire apparaître les 11 autres sprints. Attention de bien marquer les sprints avec des phases de travail en commun. Attention à garder 1 ou 2 sprints de marge libre, ne pas se surestimer, il sera toujours possible d'ajouter des activités après.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

6 Documentation

Le tableau suivant résume les documents à produire

Métier	
Carte	Logiciel
Planning	
Doc. de spécifications	Features
Synoptique détaillé	Doc. d'architecture
Doc. de conception	
Schéma + BOM	
Instructions de routage	
Dossier de définition du PCB (activité sous traitée)	
Plan de tests unitaires	
Plan de tests d'intégration Plans de tests remplis Manuel d'utilisation	

Spécifiquement pour le métier de la carte, le document de conception doit s'attacher à valider le fonctionnement de la réalisation aux conditions nominales et extrêmes (ie avec les dispersions des composants, des alimentations, des niveaux logiques, de la température, ...). Pour cela, on pourra s'appuyer sur des formules connues par un électronicien et une feuille de calcul Excel.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

7 Budget

Pour l'intégralité des achats de ce projet (carte d'évaluation, composants, routage, fabrication, assemblage, ...) un budget de 5.5k€ est alloué. Il est demandé de suivre les dépenses affectées au projet et de respecter ce budget.

8 Outils de développement

Pour les simulations électriques, il est conseillé d'utiliser [LTSpice](#).

Pour la conception de filtre analogique, il est conseillé d'utiliser [Elsie](#).

Pour la géométrie des pistes adaptées, il est conseillé d'utiliser [MDTL](#).

Pour les simulations de traitement mathématiques, il est possible d'utiliser un outil gratuit de type [FreeMat](#), [Octave](#), [SageMath](#) ou [SciLab](#).

Pour les outils STM32 :

- STM32CubeIDE
- https://www.st.com/content/st_com/en/ecosystems/stm32-graphic-user-interface.html#stm32gui-build-own-gui
- touchgfxdesigner: <https://www.st.com/en/development-tools/touchgfxdesigner.html>

Pour la gestion du planning, le tableau de bord propose une trame Excel utilisable. Il est également possible de gérer le planning avec [ProjectLibre](#) ou [GanttProject](#).

De façon plus générale, les outils de développement et de programmation devront être sans licence payante et/ou temporaire. L'utilisation d'outils libres de droit (licence GPL) est préférée.

L'installation de logiciels sur vos ordinateurs est contrôlée par le service informatique. Celle-ci peut être déléguée à vos référents métier.

9 Composants

Pour le choix des composants, on s'attachera à les choisir facilement approvisionnables et en quantité compatible du nombre de carte à faire. Cela signifie qu'ils doivent être en priorité choisis parmi les distributeurs spécialisés en électronique et réalisant un déconditionnement des composants (type [RadioSpare](#), [Mouser](#) ou [DigiKey](#), si possible, éviter [Farnell](#)). Avantageusement, l'achat des composants chez le même distributeur simplifiera le processus de commande.

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

10 Base documentaire

ELSYS-Design capitalise une base documentaire de connaissance sur le serveur ALFRECO disponible à l'adresse intranet <http://alfresco:8080>.

Les stagiaires pourront y trouver des trames de document à utiliser, des notes techniques et des informations diverses.

Les stagiaires sont invités à compléter cette base en produisant des notes d'application synthétisant leurs études, observations, réflexions...

Réf. : Stage 2022

Sujet : Caméra Thermique

Version: V00

11 Annexe : rédaction des spécifications

Il est apporté ici des précisions concernant la rédaction des spécifications de la carte et du logiciel.

Les spécifications doivent être rédigées sous forme d'exigences.

Les exigences doivent être numérotées de façon unique.

Les exigences doivent être relatives à la carte/ au logiciel. Il n'est pas demandé de spécifications du produit. Aussi, les exigences doivent être directement applicables au développement à réaliser sans interprétation.

Les exigences doivent être unitaires, vérifiables et non ambiguës. Le niveau de vérification peut être par inspection, analyse ou test. La vérification par test doit être privilégiée.

Prenons quelques exemples :

Exigence 1 :

La carte doit fonctionner dans une plage de température entre 0°C et +50°C.

Fin Exigence 1

Ceci n'est pas une exigence Carte car suppose une interprétation sur la température de fonctionnement des composants. La bonne rédaction serait :

Tous les composants doivent être choisis dans une gamme de température de fonctionnement [0 .. +60]°C a minima.

Exigence 2 :

La carte doit posséder un bouton de mise sous tension et une LED indiquant que la carte est sous tension.

Fin Exigence 2

Cette exigence n'est pas unitaire. Elle définit deux fonctions différentes : un bouton poussoir **ET** une LED. Il faut donc faire deux exigences. De plus, elle peut être considérée comme ambiguë car la couleur de la LED n'est pas définie.

Malgré tout, ce genre d'exigence est tolérée car l'ambiguïté est faible et l'interprétation du concepteur limitée.

Exigence 3 :

Avant son échantillonnage par l'ADC, le signal MonSignalAnalogique doit être filtré.

Fin Exigence 3

Cette exigence est ambiguë. En effet, le gabarit du filtre n'est pas défini et est donc sujet à interprétation de la part du concepteur.