Localisation d'un porteur mobile de camera pour la sécurité en milieu urbain

Présenté par :
Zhuzhi FAN

Encadré par :
M. Emanuel ALDEA

Contexte et problématique

- Contexte

  Porteur mobile

  Foule dense

  Sécurité

- Problématique

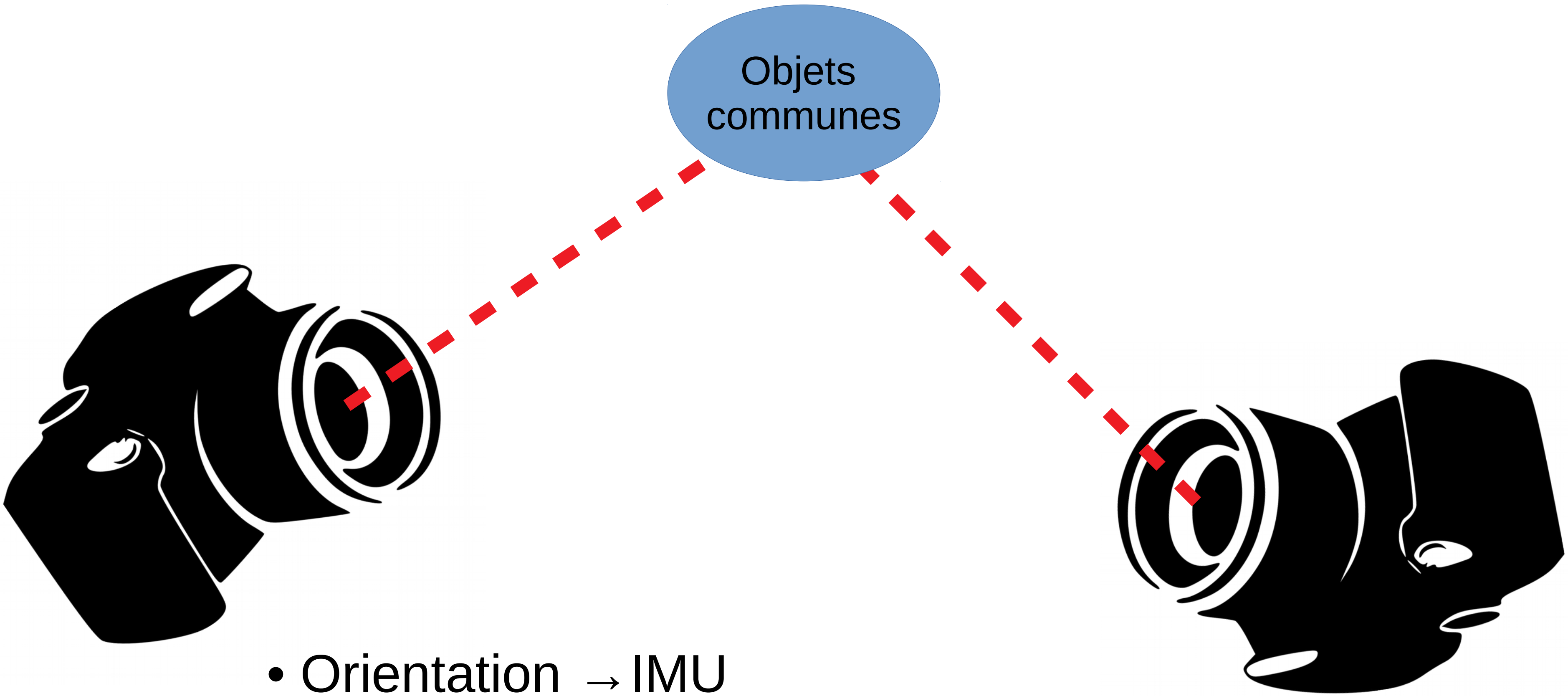
  Estimation de la pose

  Synchronisation

  Calibration

  Localisation

Contexte et problématique



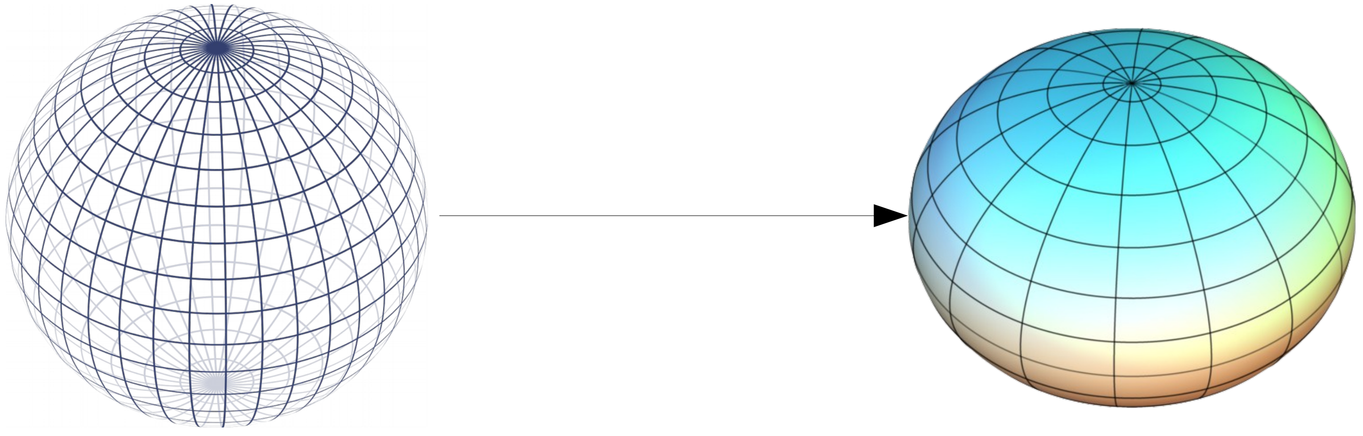
- Orientation → IMU
(Gyroscope, Accéléromètre, Magnétomètre)
- Position → GPS
- Horodatage → GPS

Estimation de la pose

- Bias de Magnétomètre /Accéléromètre
- Algorithme de Madgwick

Bias de Magnétomètre /Accéléromètre

- Champ magnétique indépendant de la pose de magnétomètre(Valeurs se répartissent donc dans une sphère théoriquement)
- Présence de la distorsion dur et doux(Valeurs se répartissent dans un ellipsoïde pratiquement)



Bias de Magnétomètre /Accéléromètre

Équation d’ellipsoïde :

$$a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3 z^2 + a_4 xy + a_5 xz + a_6 yz + a_7 x + a_8 y + a_9 = 1$$

$$\begin{bmatrix} X^2 \\ Y^2 \\ Z^2 \\ XY \\ XZ \\ YZ \\ X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \end{bmatrix} = \boldsymbol{I} \longrightarrow \boldsymbol{X}^{\boldsymbol{T}} * \boldsymbol{A} = \boldsymbol{I} \longrightarrow \boldsymbol{A} = \left(\boldsymbol{X} * \boldsymbol{X}^{\boldsymbol{T}}\right)^{-1} * \boldsymbol{I}$$

$$X \in R^{9*N}$$

$$A \in R^{9*1}$$

$$I \in R^{N*1}$$

$$N : nombre\ d'\ échantillonnage$$

Bias de Magnétomètre /Accéléromètre

Équation d’ellipsoïde :

$$a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3 z^2 + a_4 xy + a_5 xz + a_6 yz + a_7 x + a_8 y + a_9 = 1$$

$$\boldsymbol{M} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} a_1 & \frac{a_4}{2} & \frac{a_5}{2} \\ \frac{a_4}{2} & a_2 & \frac{a_6}{2} \\ \frac{a_5}{2} & \frac{a_6}{2} & a_3 \end{bmatrix} \longrightarrow \boldsymbol{C} = -\frac{1}{2}\left[a_7\, a_8\, a_9\right] * \boldsymbol{M}^{-1}$$

Bias de Magnétomètre /Accéléromètre

Même cas pour l’accéléromètre, sauf que il doive reste stable pendant l’échantillonnage

Algorithme de Madgwick

$$ {}^{S}_{E}q_{est,t} = \alpha_1 * {}^{S}_{E}q_{\omega,t} + \alpha_2 * {}^{S}_{E}q_{\nabla,t} $$

${}^{S}_{E}q$: *Quaternion présenté la pose de l'objet par rapport à l'objet stable orienté nord*

$q_{\omega,t}$: *Quaternion calculé en utilisant les valeurs du gyroscope*

$q_{\nabla,t}$: *Quaternion calculé en utilisant les valeurs de l'accéléromètre et du magnétomètre*

$q_{est,t}$: *Quaternion estimé en combinant les deux quaternions calculés*

α_1, α_2 : *Coefficient de pondération*

$$ \alpha_1 = 1 - \frac{\beta \Delta t}{\beta \Delta t + \mu_t} \qquad \alpha_2 = 1 - \frac{\mu_t}{\beta \Delta t + \mu_t} $$

Algorithme de Madgwick

$$ {}^S_E q_{est,t} = \alpha_1 * {}^S_E q_{\omega,t} + \alpha_2 * {}^S_E q_{\nabla,t} $$

$\alpha_1, \alpha_2 : Coefficient\ de\ pondération$

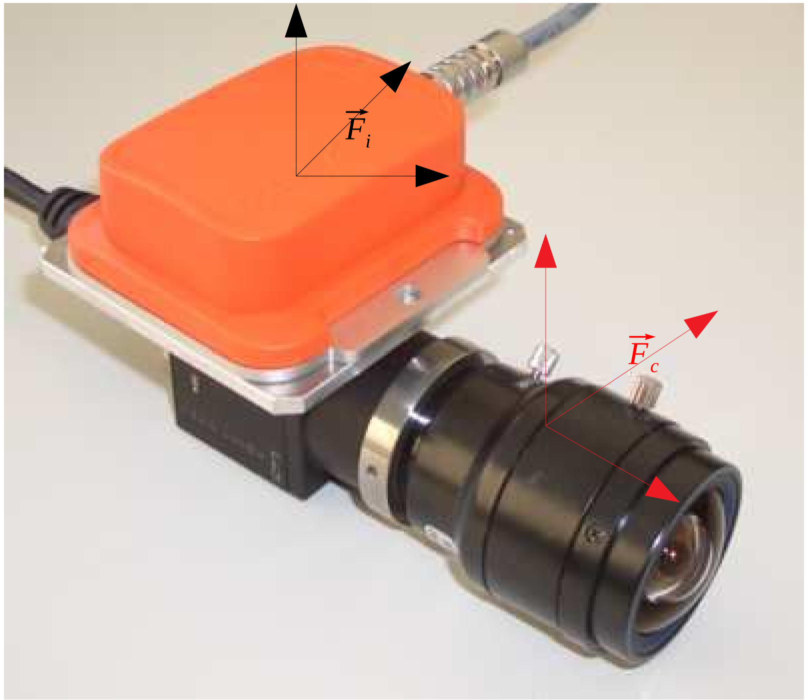
$$ \alpha_1 = 1 - \frac{\beta \Delta t}{\beta \Delta t + \mu_t} \qquad \alpha_2 = 1 - \frac{\mu_t}{\beta \Delta t + \mu_t} $$

β: *Erreur du gyroscope chaque unité de temps (indiqué dans Datasheet de IMU)*

Δt : *Période d'échantillonnage*

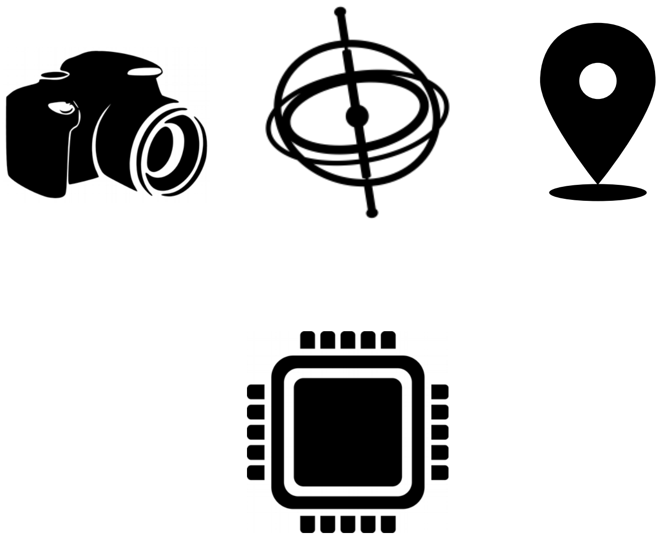
μ_t : Le Pas de l'algorithme du gradient lorsqu'on calcule le quaternion calculé en utilisant les valeurs de l'accéléromètre et du magnétomètre

Estimation de la pose



La transformation spatiale existe entre la coordonnée de IMU et celle de caméra

Synchronisation



GPS —Pulse et horodatage chaque 1s→ CPU

CPU —Polling chaque 10ms→ IMU

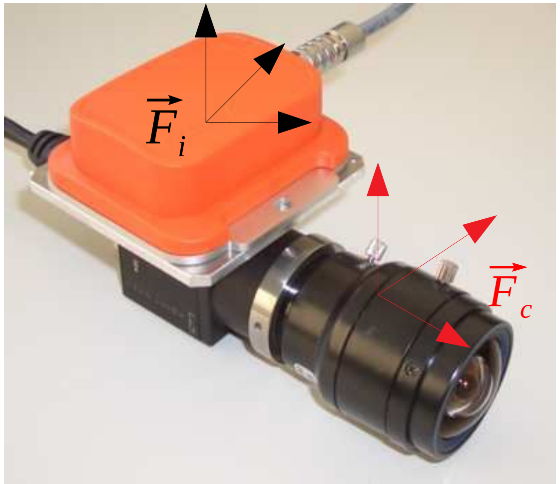
CPU —Trigger chaque 100ms→ Caméra

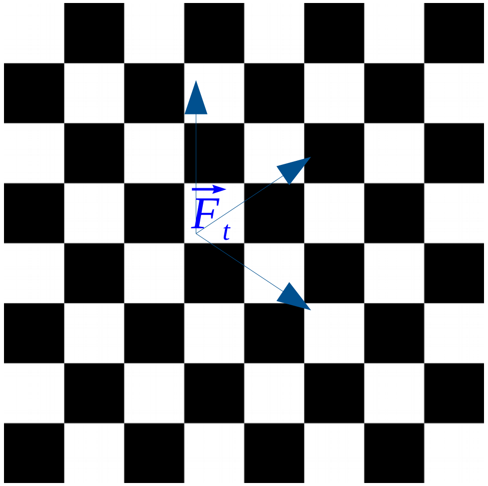
Le décalage temporel existe entre les mesures de différences différents capteurs

Calibration

Dans cette partie , nous allons estimer le décalage temporel entre les mesures de différents capteurs et leurs déplacements spatiaux par rapport à l'un et l'autre.

Calibration





Des quantités estimées :

Invariantes :

$\boldsymbol{g_t}$: La direction de la gravité

$\boldsymbol{T_{c,i}}$: La transformation entre la caméra et l'IMU

$\boldsymbol{d}$: Le décalage entre l'heure de la caméra et l'heure de l'IMU

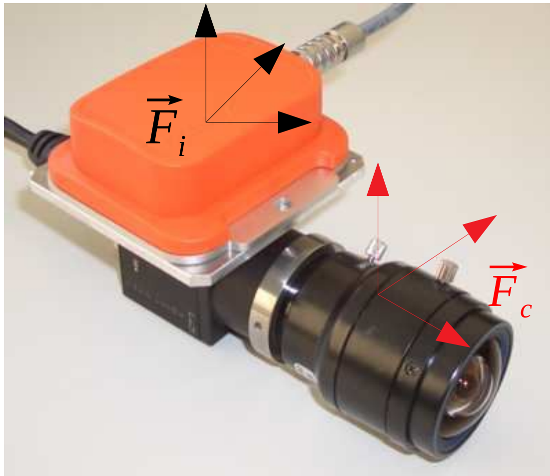
Variantes :

$\boldsymbol{T_{t,i}}(t)$: La pose de l'IMU

$\boldsymbol{b_a}(t)$: les biais de l'accéléromètre

$\boldsymbol{b_\omega}(t)$: les biais du gyroscope

Calibration



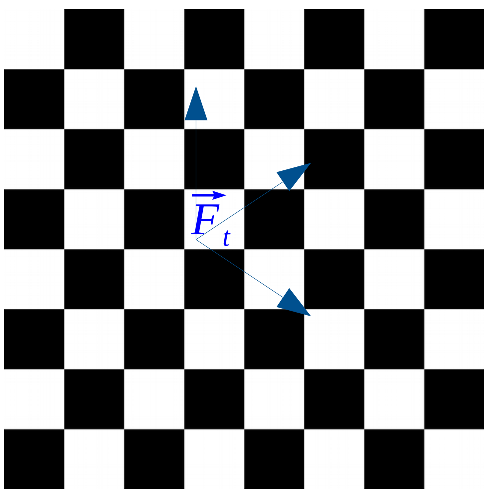
Pour décrire les six valeurs variantes de la pose de l'IMU avec fonctions analytiques, le B-spline fonctions s'emploie :

$$\mathbf{\Phi}(t) \stackrel{\text{def}}{=} \left[\Phi_1(t) \ldots \Phi_B(t) \right]$$

$\Phi_i(t)$: *base fonction de B−spline*

$\boldsymbol{B}$: *nombre de nœuds*

$\mathbf{\Phi} \in \boldsymbol{R}^{6\times B}$

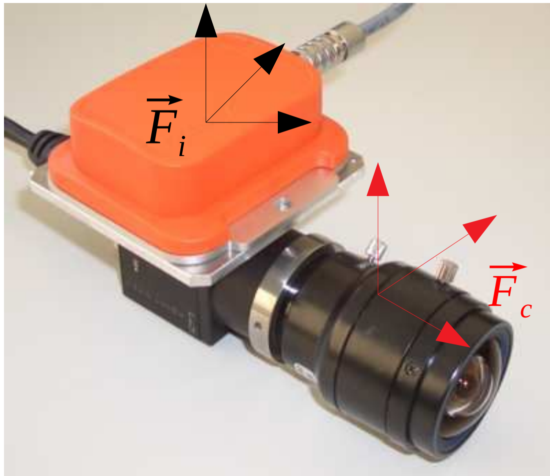


$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_1 \\ \varphi_1 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} = \mathbf{\Phi}(t) * \boldsymbol{c} = \left[\mathbf{\Phi}_{\varphi}(t) \;\; \mathbf{\Phi}_t(t) \right] * \begin{bmatrix} \boldsymbol{c}_{\varphi} \\ \boldsymbol{c}_t \end{bmatrix}$$

$\boldsymbol{c}$: *les paramètres à estimer*

$\boldsymbol{c} \in \boldsymbol{R}^{B\times 1}$

Calibration

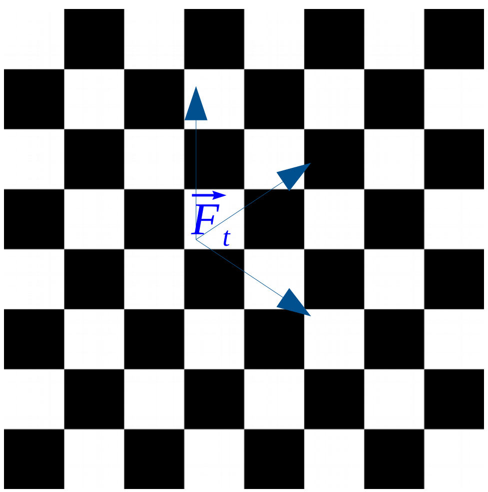


Avec les six variables présentées par B-spline fonctions, l'accélération et la vitesse angulaire peuvent être calculées (Dans le système de coordonnées géodésiques):

$$\begin{bmatrix}\varphi_1\\ \varphi_1\\ \varphi_1\\ t_1\\ t_2\\ t_3\end{bmatrix} = \boldsymbol{\Phi}(t) * \boldsymbol{c} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{\Phi}_{\varphi}(t) & \boldsymbol{\Phi}_{t}(t)\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}\boldsymbol{c}_{\varphi}\\ \boldsymbol{c}_{t}\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{v}(t) = \dot{\boldsymbol{t}}(t) = \dot{\boldsymbol{\Phi}}_{t}(t)\,\boldsymbol{c}_{t}$$

$$\boldsymbol{a}(t) = \ddot{\boldsymbol{t}}(t) = \ddot{\boldsymbol{\Phi}}_{t}(t)\,\boldsymbol{c}_{t}$$



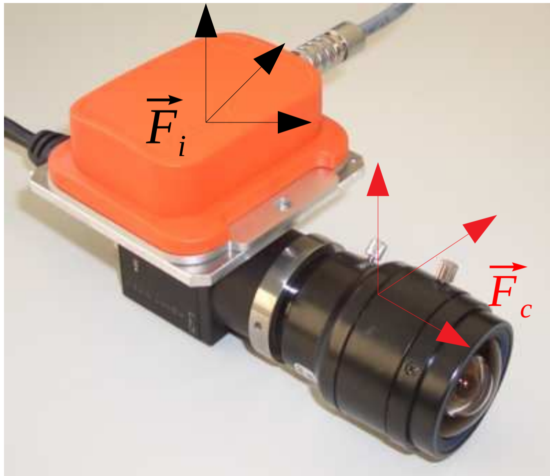
$$\boldsymbol{\omega}(t) = \boldsymbol{S}(\boldsymbol{\varphi}(t))\,\dot{\boldsymbol{\varphi}}(t) = \boldsymbol{S}(\boldsymbol{\Phi}(t)\,\boldsymbol{c}_{\varphi})\,\dot{\boldsymbol{\Phi}}(t)\,\boldsymbol{c}_{\varphi}$$

$\boldsymbol{S}()$ *la matrice standard liant les paramètres angulaires à la vitesse angulaire*

$$\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{t})) = \begin{bmatrix}1 & 0 & -\sin(\varphi_2)\\ 0 & \cos(\varphi_1) & \sin(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\\ 0 & -\sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\end{bmatrix}$$

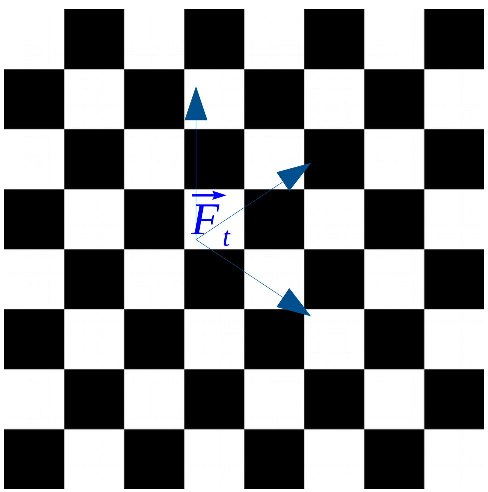
$$\boldsymbol{T}_{c,i} \overset{\text{def}}{=} \begin{bmatrix}\boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{t})) & \boldsymbol{t}(t)\\ \boldsymbol{0}^{T} & 1\end{bmatrix}$$

Calibration



$T_{t,i}$: La pose de l'IMU est en fonction de les *six valeurs* présentées par les fonctions B-spline

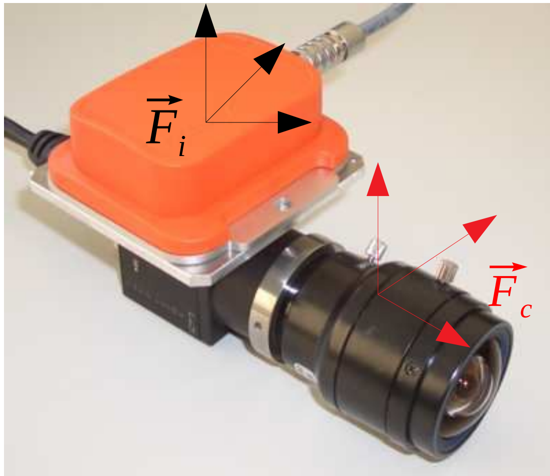
$$T_{t,i} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} C(\varphi(t)) & t(t) \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$



$$C(\varphi(t)) = \begin{bmatrix} c_2 c_3 & c_2 s_3 & -s_2 \\ s_1 s_2 c_3 - c_1 s_3 & s_1 s_2 s_3 + c_1 c_3 & s_1 c_2 \\ c_1 s_2 c_3 + s_1 s_3 & c_1 s_2 s_3 - s_1 c_3 & c_1 c_2 \end{bmatrix}$$

$$t(t) = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

Calibration



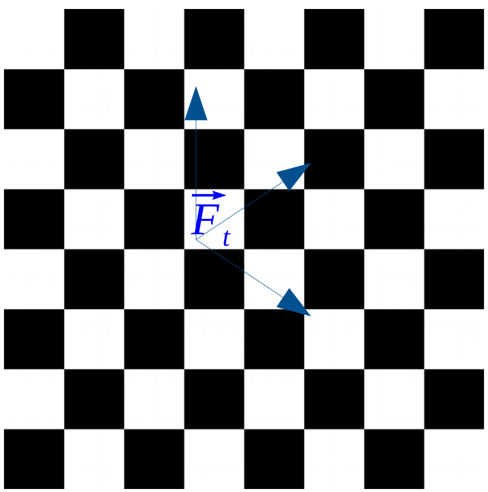
Avec la transformation entre la caméra et l' IMU , $\boldsymbol{T}_{c,i}$

la vitesse angulaire , $\boldsymbol{\varpi}$ *, l ' accélération ,* $\boldsymbol{\alpha}$ *,*

et les positions des landmarks dans le checkerboard , $\boldsymbol{p}^m$ *peuvent être prédit*

$$\boldsymbol{\alpha}_k \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T(\boldsymbol{a}(t_k)-g_t)+\boldsymbol{b}_a(t_k)+\boldsymbol{n}_{\alpha_k}$$

$$\boldsymbol{\varpi}_k \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T \boldsymbol{\omega}(t_k)+\boldsymbol{b}_\omega(t_k)+\boldsymbol{n}_{\omega_k}$$



$$\boldsymbol{y}_{mk} \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{h}(\boldsymbol{T}_{c,i}\boldsymbol{T}_{t,i}(t_k+d)^{(-1)}\boldsymbol{p}_t^m)+\boldsymbol{n}_{ymk}$$

$\boldsymbol{b}_a(t)$: les biais de l'accéléromètre

$\boldsymbol{b}_\omega(t)$: les biais du gyroscope

$\boldsymbol{h}$: *modle de caméra nonlinear*

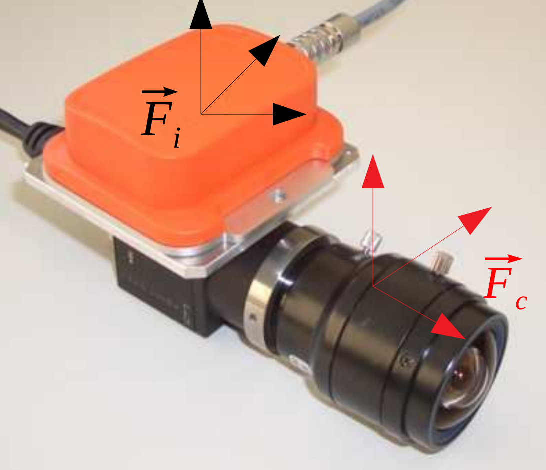
$\boldsymbol{n} \sim \boldsymbol{N}(0, \boldsymbol{R})$

$$\boldsymbol{T}_{c,i} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{t})) & \boldsymbol{t}(t) \\ \boldsymbol{0}^T & 1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\boldsymbol{b}}_a \sim \boldsymbol{gp}(0, \boldsymbol{Q}_a \delta(t-t'))$$

$$\dot{\boldsymbol{b}}_\omega \sim \boldsymbol{gp}(0, \boldsymbol{Q}_a \omega(t-t'))$$

Calibration



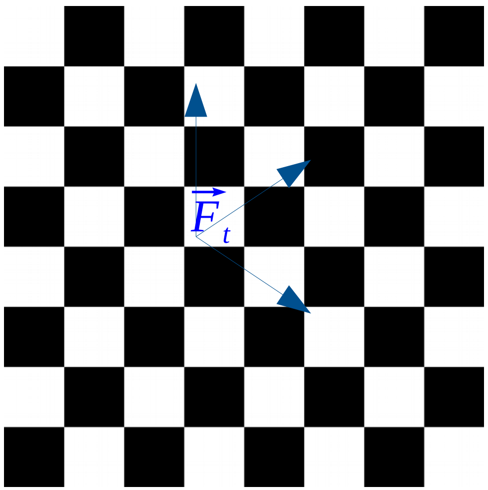
En comparant des valeurs mesurées et celles prédits, l'erreur correspondants sont définis :

$$\boldsymbol{e}_{\boldsymbol{\alpha}_k} \stackrel{\text{def}}{=} \alpha_k - \left(\boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T (\boldsymbol{a}(t_k) - \boldsymbol{g}_t) + \boldsymbol{b}_{\boldsymbol{a}}(t_k)\right)$$

$$\boldsymbol{e}_{\boldsymbol{\omega}_k} \stackrel{\text{def}}{=} \varpi_k - \left(\boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T \omega(t_k) + \boldsymbol{b}_{\boldsymbol{\omega}}(t_k)\right)$$

$$\boldsymbol{e}_{\boldsymbol{y}_{mk}} \stackrel{\text{def}}{=} y_{mk} - \left(\boldsymbol{h}\left(\boldsymbol{T}_{c,i} \boldsymbol{T}_{t,i} (t_k + d)^{(-1)} \boldsymbol{p}_{\boldsymbol{t}}^{\boldsymbol{m}}\right)\right)$$

$$\boldsymbol{e}_{\boldsymbol{b}_a} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{\boldsymbol{b}}_{\boldsymbol{a}} \qquad \boldsymbol{e}_{\boldsymbol{b}_{oméga}} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{\boldsymbol{b}}_{\omega}$$

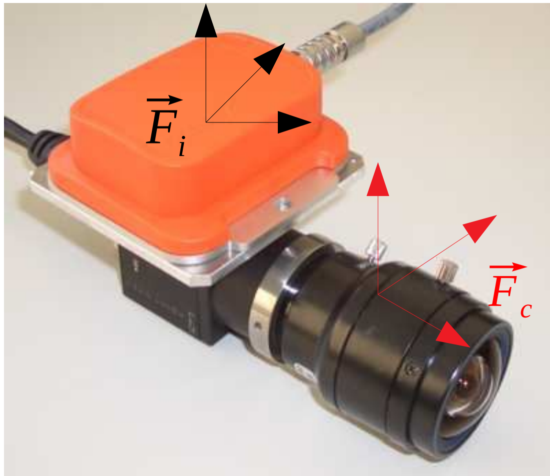


$$\boldsymbol{\alpha}_k \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T (\boldsymbol{a}(t_k) - g_t) + \boldsymbol{b}_{\boldsymbol{a}}(t_k) + \boldsymbol{n}_{\alpha_k}$$

$$\boldsymbol{\varpi}_k \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T \omega(t_k) + \boldsymbol{b}_{\omega}(t_k) + \boldsymbol{n}_{\omega_k}$$

$$\boldsymbol{y}_{mk} \stackrel{\text{def}}{=} \boldsymbol{h}\left(\boldsymbol{T}_{c,i} \boldsymbol{T}_{t,i} (t_k + d)^{(-1)} \boldsymbol{p}_{\boldsymbol{t}}^{\boldsymbol{m}}\right) + \boldsymbol{n}_{ymk}$$

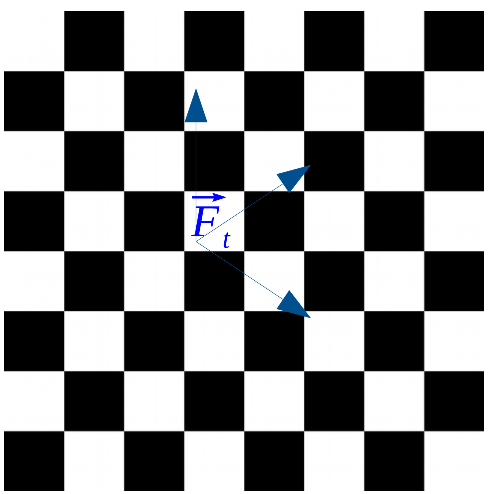
Calibration



Avec ces erreur, on peut définir des intégrations des erreur, qui seront utilisés pour définir la fonction de l'objet de chercher l'estimation du maximum de vraisemblance (Algorithme de Levenberg-Marquardt)

$$\boldsymbol{e}_{\alpha_k} \stackrel{\text{def}}{=} \alpha_k - \left(\boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T (\boldsymbol{a}(t_k) - \boldsymbol{g}_t) + \boldsymbol{b}_a(t_k)\right) \qquad \boldsymbol{J}_\alpha \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{K} \boldsymbol{e}_{\alpha_k}^T \boldsymbol{R}_{\alpha_k}^{-1} \boldsymbol{e}_{\alpha_k}$$

$$\boldsymbol{e}_{\omega_k} \stackrel{\text{def}}{=} \varpi_k - \left(\boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(t_k))^T \omega(t_k) + \boldsymbol{b}_\omega(t_k)\right) \qquad \boldsymbol{J}_\omega \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{K} \boldsymbol{e}_{\omega_k}^T \boldsymbol{R}_{\omega_k}^{-1} \boldsymbol{e}_{\omega_k}$$



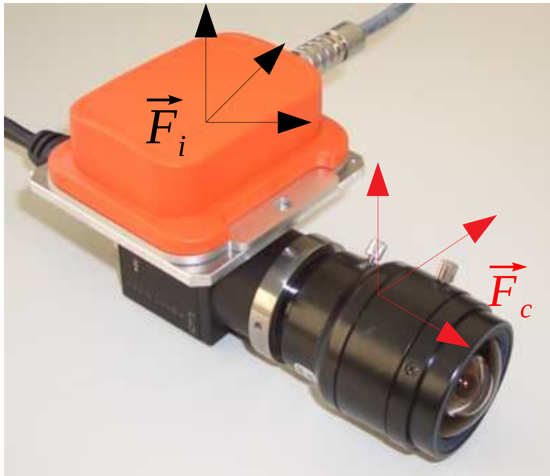
$$\boldsymbol{e}_{y_{mk}} \stackrel{\text{def}}{=} y_{mk} - \left(\boldsymbol{h}\left(\boldsymbol{T}_{c,i} \boldsymbol{T}_{t,i}(t_k + d)^{(-1)} \boldsymbol{p}_t^m\right)\right) \qquad \boldsymbol{J}_y \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{K} \sum_{m=1}^{M} \boldsymbol{e}_{ymk}^T \boldsymbol{R}_{ymk}^{-1} \boldsymbol{e}_{ymk}$$

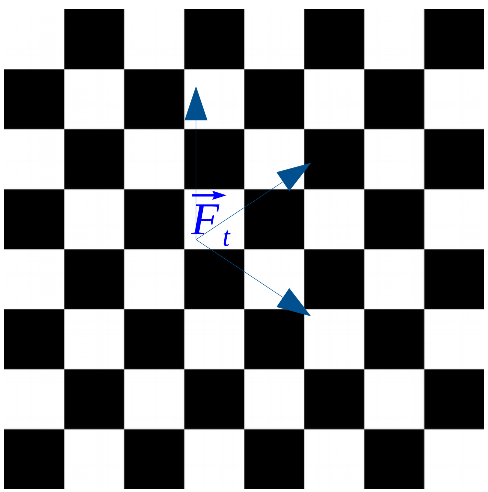
$$\boldsymbol{e}_{b_a} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{\boldsymbol{b}}_a \qquad \boldsymbol{J}_{b_a} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{e}_{b_a}(\tau)^T \boldsymbol{R}_{\alpha_k}^{-1} \boldsymbol{e}_{b_a}(\tau)\, d\tau$$

$$\boldsymbol{e}_{b_\omega} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{\boldsymbol{b}}_\omega \qquad \boldsymbol{J}_{b_\omega} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{e}_{b_{\text{oméga}}}(\tau)^T \boldsymbol{R}_{\alpha_k}^{-1} \boldsymbol{e}_{b_\omega}(\tau)\, d\tau$$

$$\boldsymbol{T}_{c,i} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} \boldsymbol{C}(\boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{t})) & \boldsymbol{t}(t) \\ \boldsymbol{0}^T & 1 \end{bmatrix}$$

Calibration





$$J_\alpha \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K} e_{\alpha_k}^T R_{\alpha_k}^{-1} e_{\alpha_k}$$

$$J_\omega \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K} e_{\omega_k}^T R_{\omega_k}^{-1} e_{\omega_k}$$

$$J_y \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} e_{ymk}^T R_{ymk}^{-1} e_{ymk}$$

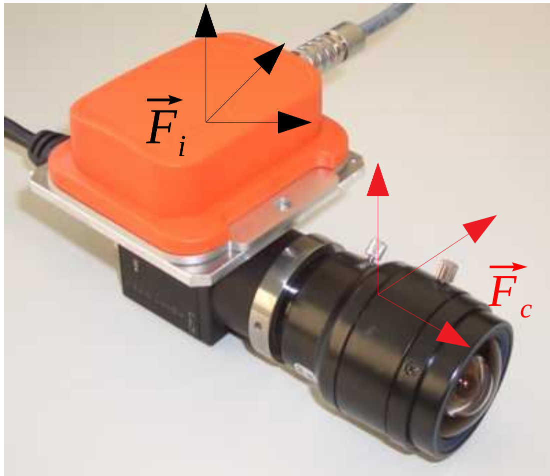
$$J_{b_a} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_1}^{t_2} e_{b_a}(\tau)^T R_{\alpha_k}^{-1} e_{b_a}(\tau)\, d\tau$$

$$J_{b_\omega} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_1}^{t_2} e_{b_{\text{oméga}}}(\tau)^T R_{\alpha_k}^{-1} e_{b_\omega}(\tau)\, d\tau$$

$$J \stackrel{\text{def}}{=} J_\alpha + J_\omega + J_y + J_{b_a} + J_{b_\omega}$$

l’algorithme de Levenberg-Marquardt s’emploie chercher l’estimation du maximum de vraisemblance avec le somme des 5 types d’erreur

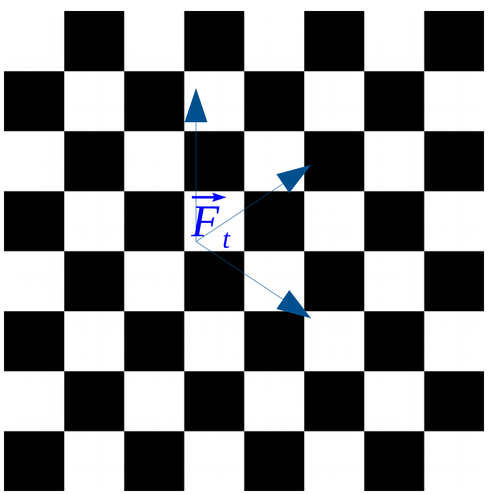
Calibration



$$e_{\alpha_k} \stackrel{\text{def}}{=} \alpha_k - \left(C(\varphi(t_k))\right)^T \left(a(t_k) - g_t\right) + b_a(t_k)\right)$$

$$e_{\omega_k} \stackrel{\text{def}}{=} \varpi_k - \left(C(\varphi(t_k))\right)^T \omega(t_k) + b_\omega(t_k)\right)$$

$$e_{y_{mk}} \stackrel{\text{def}}{=} y_{mk} - \left(h\left(T_{c,i} T_{t,i}(t_k + d)\right)^{(-1)} p_t^m\right)\right)$$



$$e_{b_a} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{b}_a$$

$$e_{b_\omega} \stackrel{\text{def}}{=} \dot{b}_\omega$$

$$T_{c,i} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} C(\varphi(t)) & t(t) \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

Cette étape de calibration ne fait que une fois pour obtenir la transformation spatiale entre la coordonnée de IMU et celle de caméra

Localisation

Après la plateforme est prête, nous passerons à la partie de localisation

Merci