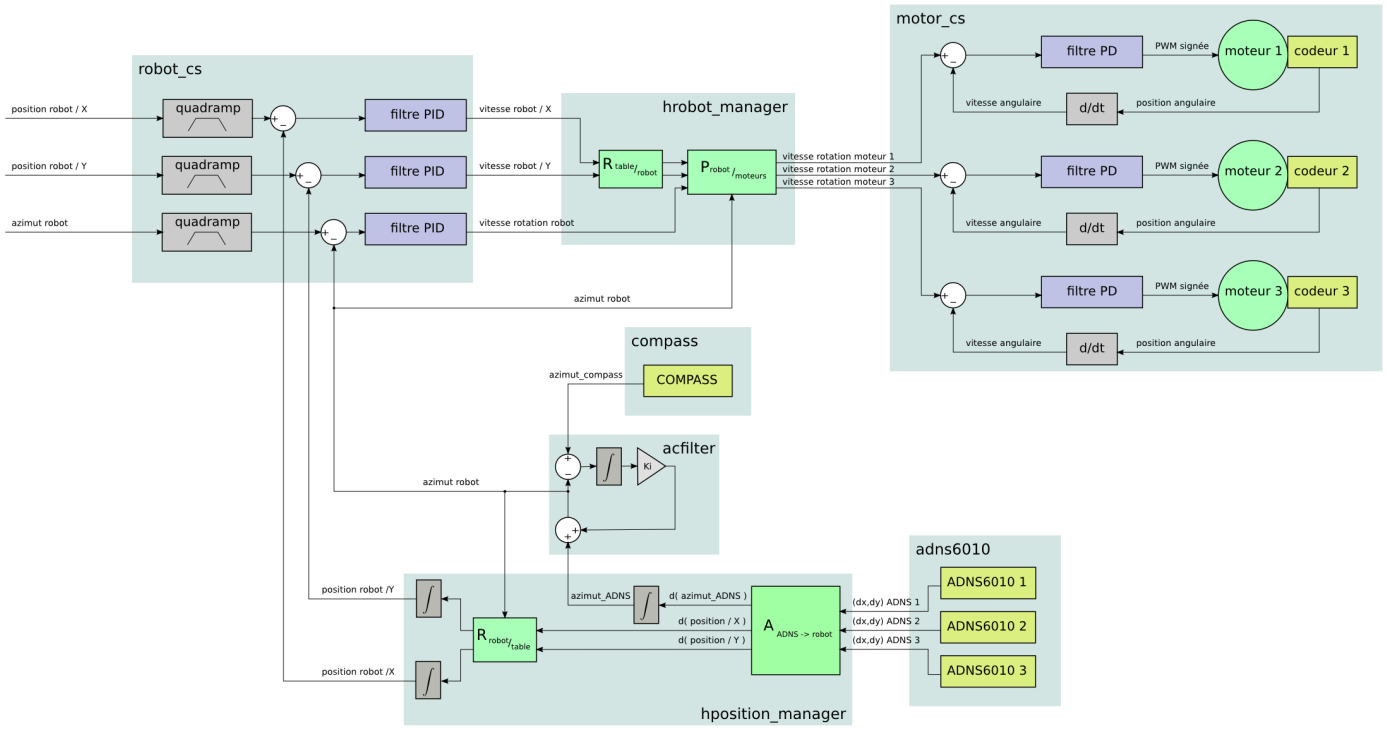
Rob'Otter 2k9

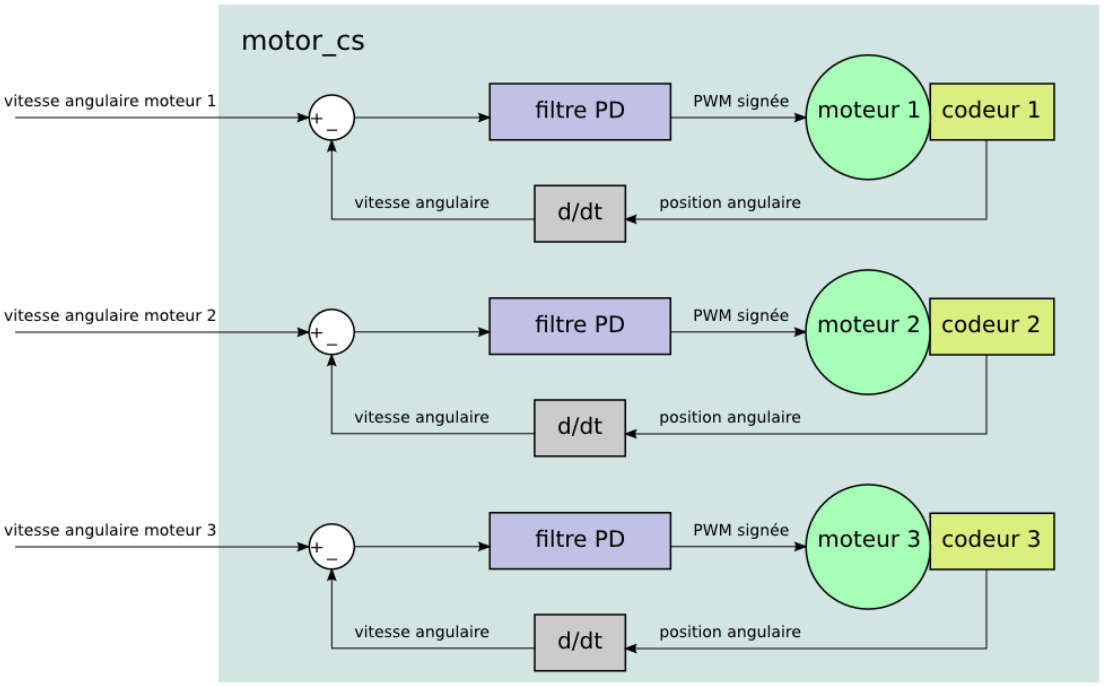
Galipeur

Table des matières

I Asservissement



1.1 Asservissement en vitesse des moteurs



Chaque moteur est individuellement asservi en vitesse par un régulateur PD (Proportionnel,Dérivée) et un codeur incrémental HEDS5540 fixé à l'axe moteur.

1.1.1 Consigne

La consigne est ici une vitesse moteur exprimée en *pas codeur / tick asservissement*.

1.1.2 Correction

La correction de l'asservissement est appliquée sous la forme d'une PWM + signe envoyée aux drivers moteurs, permettant de contrôler le moteur en tension.

1.1.3 Feedback

L'information de vitesse est récupérée depuis les codeurs incrémentaux HEDS5540, branchée sur le FPGA de l'UNIOC-NG, traités pour obtenir une position absolue de l'axe moteur puis transmis à l'ATmega128 de l'UNIOC-NG.

Un filtre dérivateur est appliquée sur la boucle de retour afin d'obtenir la vitesse de rotation de l'axe moteur.

1.1.4 Code

L'asservissement en vitesse des moteurs est réalisé dans les fichiers `unioc_asserv/motor_cs.c`, `unioc_asserv/motor_` et `unioc_asserv/motor_cs_config.h`.

Initialisation

`unioc_asserv/cs.c` ligne 80 :

```
// Initialize control systems for motors
NOTICE(0,"Initializing motors control systems");
motor_cs_init();
```

La fonction `motor_cs_init` assure l'initialisation des `control_system_managers`, filtres PID et PWM moteurs.

Mise à jour

La mise à jour de l'asservissement est effectuée par la fonction `motor_cs_update()` appellée par la fonction `hrobot_set_motors()` du module `hrobot_manager` lors de l'envoi des consignes aux moteurs.

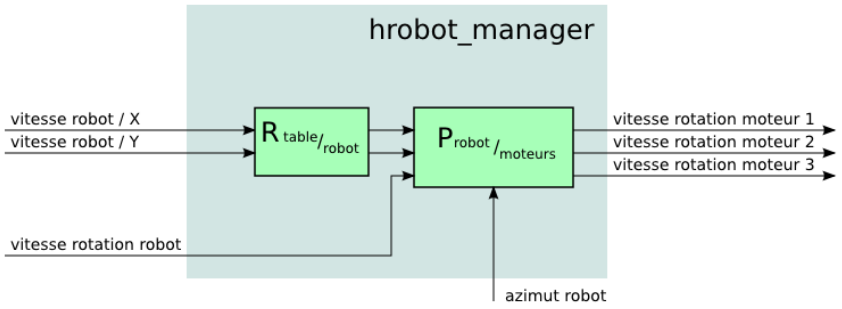
`unioc_asserv/hrobot_manager.c` ligne 66 :

```
// set motors speeds
if(hrs->motors_accessor)
(hrs->motors_accessor)(hrs->motors_accessor_params, v0, v1, v2);
```

Le pointeur `hrs->motors_accessor` est assigné à `motor_cs_update()` dans `unioc_asserv/cs.c` ligne 73 :

```
hrobot_set_motors_accessor(&system, motor_cs_update, NULL);
```

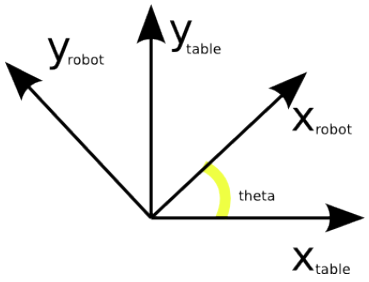
1.2 Propulsion vectorielle



1.2.1 Changement de repère

Théorie

La correction calculée par l'asservissement en position est exprimée dans le repère lié à la table de jeu R_{table}. Avant de l'envoyer aux asservissements moteurs il faut effecteur un changement de repère de R_{table} vers R_{robot}.



On a :

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{table}} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{robot}} \tag{1.1}$$

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{robot}} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{table}} \tag{1.2}$$

Code

Le changement de repère est effectué dans la fonction `robot_cs_update()` :

```
vx_t     = cs_get_out(&csm_x);
vy_t     = cs_get_out(&csm_y);
omegaz_t = cs_get_out(&csm_angle);

hposition_get(rcs->hpm, &hvec);

alpha = -hvec.alpha;

vx_r = vx_t*cos(alpha) - vy_t*sin(alpha);
vy_r = vx_t*sin(alpha) + vy_t*cos(alpha);
```

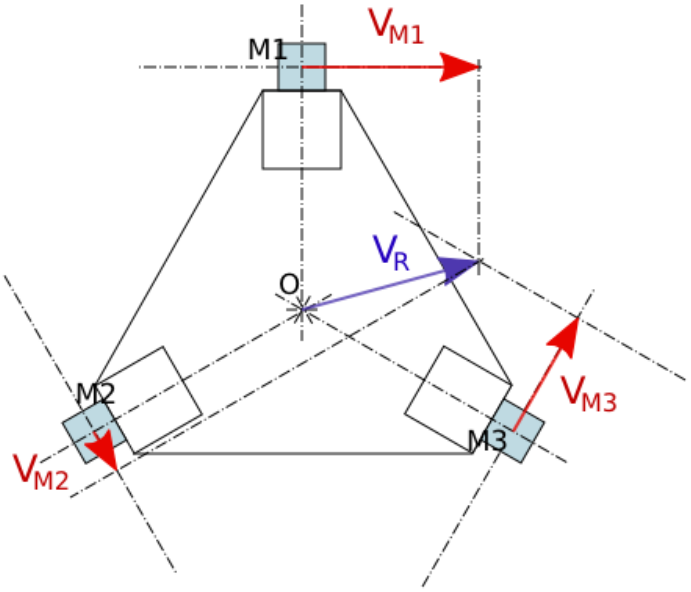
1.2.2 Théorie

La propulsion vectorielle permet de transformer une consigne en vitesse exprimée dans le repère lié au robot R_{robot} :

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{robot}} \tag{1.3}$$

En une consigne en vitesse sur chaque moteur :

$$\begin{pmatrix} v_{M_1} \\ v_{M_2} \\ v_{M_3} \end{pmatrix}_{R_{moteurs}} \tag{1.4}$$



Soit $\overrightarrow{u_{M_1}}, \overrightarrow{u_{M_2}}, \overrightarrow{u_{M_3}}$ respectivement les vecteurs unitaires colinéaires au diamètre de chaque roue et appartenant au plan $(\vec{x}, \vec{y})$, chaque vecteur positif dans le sens de poussée positive de chaque moteur.
Soit R la distance entre le point d'appui d'une omniwheel et le centre du robot.
On pose $\overrightarrow{V_{robot/table}}_O = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 0 \end{pmatrix}_O$ vecteur vitesse du robot en O dans le repère lié à la table.

On effectue le déplacement du torseur cinématique du robot en O aux points de contacts de chaque roue M_1, M_2 et M_3.

Au point O le torseur cinématique du robot est :

$$\left\{\nu_{robot/table}\right\} = \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O \end{array} \right\}_O = \left\{ \begin{array}{cc} v_x & 0 \\ v_y & 0 \\ 0 & \omega \end{array} \right\}_O \tag{1.5}$$

Déplacement du torseur en M_1 :

$$\left\{\nu_{robot/table}\right\} = \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O \end{array} \right\}_O \tag{1.6}$$

$$= \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O + \overrightarrow{OM_1} \wedge \omega.\overrightarrow{z} \end{array} \right\}_{M_1} \tag{1.7}$$

$$= \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O + R.\omega.\overrightarrow{u_{M_1}} \end{array} \right\}_{M_1} \tag{1.8}$$

On obtient de même en M_2 et M_3 :

$$\left\{\nu_{robot/table}\right\} = \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O + R.\omega.\overrightarrow{u_{M_2}} \end{array} \right\}_{M_2} \tag{1.9}$$

$$\left\{\nu_{robot/table}\right\} = \left\{ \begin{array}{c} \omega.\overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{V_{robot/table}}_O + R.\omega.\overrightarrow{u_{M_3}} \end{array} \right\}_{M_3} \tag{1.10}$$

Chaque omniwheel n ne peut fixer la vitesse que suivant l'axe $\overrightarrow{u_{M_n}}$, on obtient donc, en notant θ_{M_n} l'orientation respective de chaque vecteur u_{Mn} :

$$v_{M_n} = \overrightarrow{V_{robot/table}}_{M_n}.\overrightarrow{u_{M_n}} \tag{1.11}$$

$$= (\overrightarrow{V_{robot/table}}_O + R.\omega.\overrightarrow{u_{M_n}}).\overrightarrow{u_{M_n}} \tag{1.12}$$

$$= \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ 0 \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} \cos\theta_{M_n} \\ \sin\theta_{M_n} \\ 0 \end{pmatrix} + R.\omega \tag{1.13}$$

$$= v_x.\cos\theta_{M_n} + v_y.\sin\theta_{M_n} + R.\omega \tag{1.14}$$

Ce qui donne le système d'équations suivant :

$$v_{M_1} = v_x.\cos\theta_{M_1} + v_y.\sin\theta_{M_1} + R.\omega \tag{1.15}$$

$$v_{M_2} = v_x.\cos\theta_{M_2} + v_y.\sin\theta_{M_2} + R.\omega \tag{1.16}$$

$$v_{M_3} = v_x.\cos\theta_{M_3} + v_y.\sin\theta_{M_3} + R.\omega \tag{1.17}$$

Soit, sous forme matricielle, la matrice P :

$$P = \begin{pmatrix} \cos\theta_{M_1} & \sin\theta_{M_1} & R \\ \cos\theta_{M_2} & \sin\theta_{M_2} & R \\ \cos\theta_{M_3} & \sin\theta_{M_3} & R \end{pmatrix} \tag{1.18}$$

1.2.3 Code

Initialisation

Le module `hrobot_manager` est initialisé dans le fichier `cs.c` ligne 70 :

```
// Initialize robot manager
NOTICE(0,"Initializing robot manager");
hrobot_init(&system);
hrobot_set_motors_accessor(&system, motor_cs_update, NULL);
```

Mise à jour

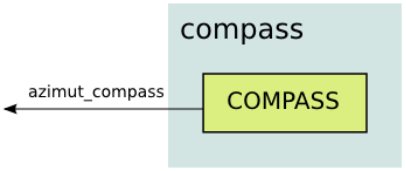
Ces transformations sont implémentées dans la fonction `hrobot_set_motors` du module `hrobot_manager` aux lignes 62 à 70 :

```
// project speed vector on each motor
v0 = vx*HROBOT_MOTOR0_COS_COURSE + vy*HROBOT_MOTOR0_SIN_COURSE;
v1 = vx*HROBOT_MOTOR1_COS_COURSE + vy*HROBOT_MOTOR1_SIN_COURSE;
v2 = vx*HROBOT_MOTOR2_COS_COURSE + vy*HROBOT_MOTOR2_SIN_COURSE;

//
v0 += omega;
v1 += omega;
v2 += omega;
```

Notons que dans la version présentée du code aucun effort de mise en conformité des unités n'a été effectuée R étant ici unitaire.

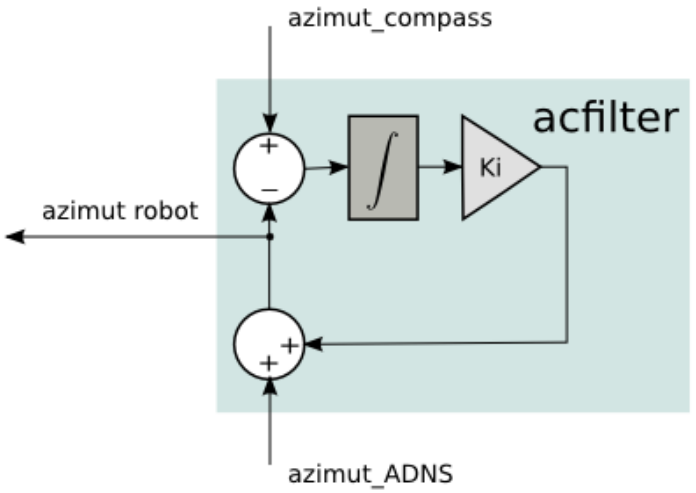
1.3 Compass



La boussole électronique a été ajoutée afin de palier à la dérive du capteur ADNS en angle.

Un simple filtre a été ajouté afin que l'angle renvoyé par le capteur, appartenant initialement à $[0; 2\pi[$, devienne continu.

1.4 ACFilter



1.4.1 Théorie

Ce filtre permet de gérer 2 capteurs différents : boussole et capteur ADNS sur une seul et même grandeur : l'azimut du robot.

Or les mesures ont montrés que la mesure de cet azimut par intégration de la vitesse de rotation mesurée par le capteur ADNS montre un temps de réponse rapide mais une importante dérive.

À l'inverse, la boussole, ne présente aucune dérive mais un temps de réponse élevé et une résolution faible.

Le filtre est réglable par la valeur de K_i gain intégral du filtre où pour $K_i = 0$ seul le capteur ADNS est pris en compte et pour $K_i \to 1$ l'influence de la boussole est maximum.

Une valeur de gain de $K_i = 0.02$ est actuellement utilisé sur l'asservissement du robot.

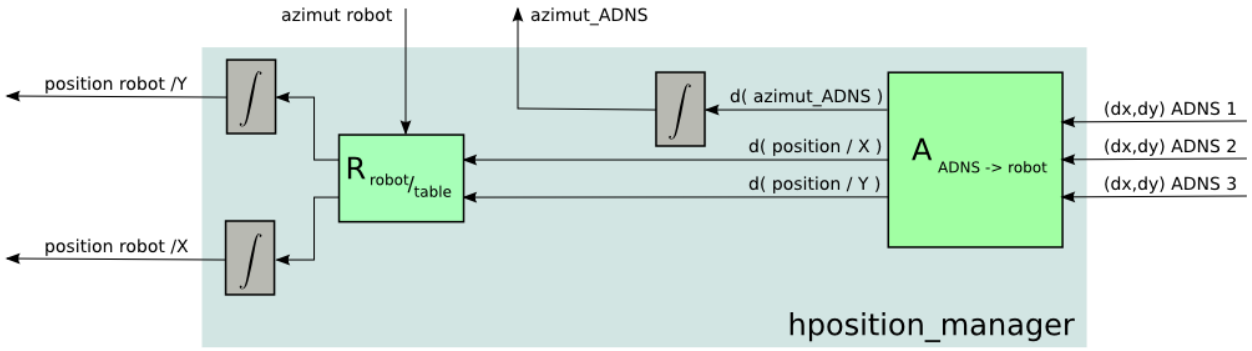
1.4.2 Code

Le filtre est implémenté dans les fichiers `acfilter.c` et `acfilter.h`.

Le filtre est initialisé à la ligne 66 du fichier `cs.c` :

```
 // Initializing ADNS/Compass filter
NOTICE(0,"Initializing ADNS / Compass filter");
acfilter_init(&acfilter, 0.02);
```

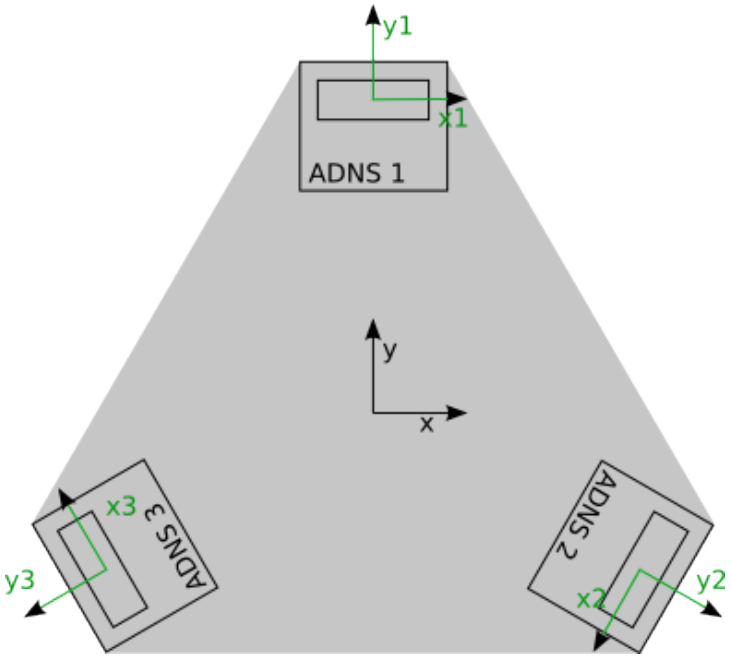
1.5 Positionnement



1.5.1 Transformation vitesses ADNS vers vitesses robot

Théorie

La carte ADNS6010 donne les vitesses de déplacement de chaque capteur dans son repère.



Soit le vecteur $\begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{y1} \\ v_{x2} \\ v_{y2} \\ v_{x3} \\ v_{y3} \end{pmatrix}$ représentant les informations de vitesses renvoyées par le capteur ADNS.

Sachant que chaque repère ADNS est une transformation linéaire du repère du robot on peut dire, en notant $\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{robot}}$ la vitesse du robot, qu'il existe une matrice A telle que :

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix}_{R_{robot}} = A \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{y1} \\ v_{x2} \\ v_{y2} \\ v_{x3} \\ v_{y3} \end{pmatrix} \tag{1.19}$$

La matrice A est donc une matrice 3x6 obtenue par identification du capteur ADNS.

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} & a_{05} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \end{pmatrix} \tag{1.20}$$

Code

Initialisation

Le module `hposition_manager` est initialisé dans le fichier `main.c` lignes 216 à 221 :

```
NOTICE(0,"Initializing position manager");
hposition_init( &position );
hposition_set( &position, 0.0, 0.0, 0.0 );
```

Mise à jour

La transformation, réduite à un produit matriciel, est implémenté dans la fonction `hposition_update` du module `hposition_manager` ligne 125.

```
//------------------------------------------------------------
// Transform speed in ADNS coordinates to robot coordinates

for(k=0;k<3;k++)
  dp[k] = 0.0;

// for each ADNS coordinate (vx1,vy1,vx2,vy2,vx3,vy3)
for(i=0;i<6;i++)
{
  // compute speed in ADNS coordinates
  v = hpos->pAdnsVectors[i] - adns6010.vectors[i];
  // update previous ADNS vectors
  hpos->pAdnsVectors[i] = adns6010.vectors[i];

  // for each robot coordinate (x,y,a) compute a dx of mouvement
  for(k=0;k<3;k++)
    dp[k] += hrobot_adnsMatrix[k][i]*v;
}

// convert d(movement) from (2^14mm) to (mm)
for(k=0;k<3;k++)
  dp[k] = dp[k]/(double)(1<<HPOSITION_MANAGER_ADNSMATRIX_UNITPOW);
```

1.5.2 Intégration des vitesses ADNS

Théorie

L'élément $\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_{ADNS} \end{pmatrix}_{R_{robot}}$ est donc obtenu à partir du capteur ADNS.

L'idée générale est d'intégrer cet élément afin d'obtenir le vecteur position du robot $\begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_{R_{table}}$ dans le repère lié à la table. La première étape est de calculer θ, or les tests ont montrés qu'effectuer une simple intégration de ω_{ADNS} pour obtenir θ_{ADNS} ne donne pas une information fiable sur l'angle car soumise à une importante dérive. Pour palier à ce phénomène une boussole électronique et un filtre on été mis en place (voir sections dédiés).

Le vecteur $\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}_{R_{robot}}$ est alors transformé d'une rotation de $-\theta$ afin de l'exprimer dans le repère R_{table} lié à la table.

Code

L'intégration de l'élément de position calculé est effectué à la suite dans la fonction `hposition_update` ligne 153.

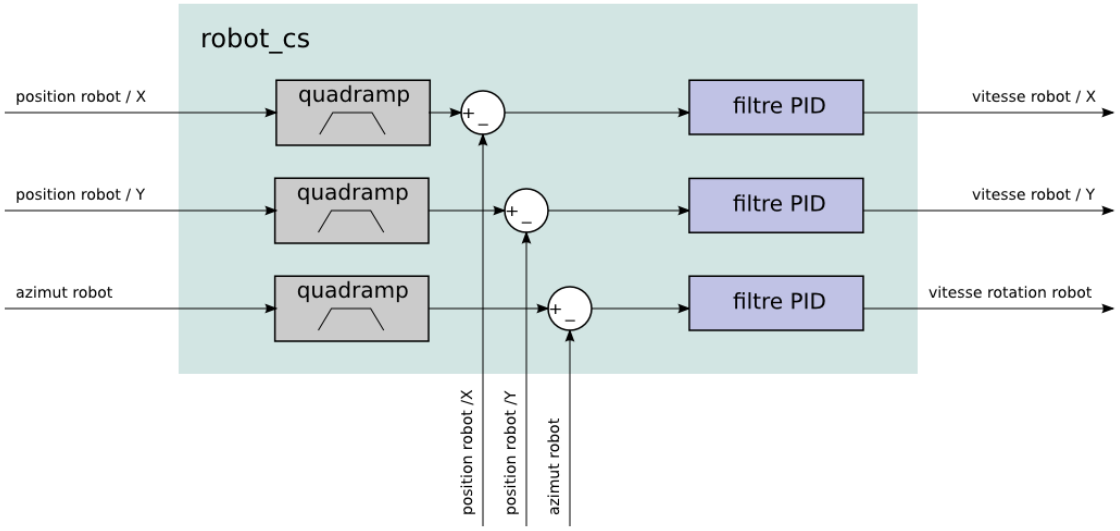
```
_ca = cos(vec.alpha);
```

```
_sa = sin(vec.alpha);

[...]

vec.x = hpos->position.x + dp[HROBOT_DX]*_ca - dp[HROBOT_DY]*_sa;
vec.y = hpos->position.y + dp[HROBOT_DX]*_sa + dp[HROBOT_DY]*_ca;
```

1.6 Asservisement en position



Le robot est asservi en position par un régulateur PID sur chaque dimension : translation suivant $\vec{x}$, translation suivant $\vec{y}$, rotation suivant $\vec{z}$. La dernière étape consiste en une rotation du vecteur afin de le passer du repère R_{table} au repère R_{robot}.

1.6.1 Boucles d'asservissement

Consigne

La consigne est une position exprimée en mm et en radians.

Un filtre *quadramp* est appliqué à la consigne permettant de limiter ses dérivées premières et secondes, limitant ainsi l'accélération et la vitesse du robot.

Correction

La correction de l'asservissement est un vecteur vitesse passé en consigne à l'asservissement des moteurs.

Feedback

L'information de position est récupérée depuis le module `hposition_manager`, calculée depuis le retour de la carte ADNS6010.

Code

L'asservissement en position du robot est réalisé dans les fichiers `unioc_asserv/robot_cs.c` et `unioc_asserv/robot_`

Initialisation

`unioc_asserv/cs.c` ligne 85 :

```
// Initialize control systems for robot
NOTICE(0,"Initializing robot control systems");
robot_cs_init(&robot_cs);
robot_cs_set_hrobot_manager(&robot_cs,&system);
robot_cs_set_hposition_manager(&robot_cs,&position);
```

La fonction `robot_cs_init` assure l'initialisation des `control_system_managers`, filtres PID et quadramps.

Mise à jour

La mise à jour de l'asservissement est effectuée par la fonction `robot_cs_update()` appellée par `cs_update()`, fonction appellée sur interruption par le module `scheduler` :
`unioc_asserv/main.c` ligne 192 :

```
// Unleash control systems
event_cs =
  scheduler_add_periodical_event_priority(&cs_update, NULL, 25,100);
```

1.7 Fonctionnement nominal

1.7.1 Initialisation

La fonction `hposition_update` assurant la mise à jour de la position du robot à partir des informations retournées par les ADNS est appellée sur interruption depuis la fonction `cs_update()`.

1.7.2 Mise à jour de l'asservissement

La mise à jour de l'asservissement se déroule de la manière suivante :
- mise à jour de la boussole par appel à `compass_update()`.
- mise à jour de la position par appel à `hposition_update()`.
- appel de `robot_cs_update`, mise à jour des asservissements en translation suivant $\vec{x}$, translation suivant $\vec{y}$ et angle selon $\vec{z}$;
- appel de `hrobot_set_motors` avec les valeurs calculées par les 3 asservissements en position, afin de transformer une consigne en vitesse dans le repère du robot vers une consigne en vitesse sur chaque moteur ;
- appel de `motor_cs_update` avec les consignes en vitesse de chaque moteur, mise à jour des asservissement en vitesses des 3 moteurs ;
- mise à jour des PWMs avec les valeurs calculées par les asservissements en vitesse.

II Identification du capteur ADNS

2.1 Théorie

Le capteur de position constitué de 3 capteurs optiques ADNS6010 n'est pas parfaitement ajusté dans les axes de la base roulante et il est, par conséquent, difficile de calculer la matrice A vue précédement a partir des mesures du capteur.

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{y1} \\ v_{x2} \\ v_{y2} \\ v_{x3} \\ v_{y3} \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

La méthode est donc d'effectuer une série de mesure de couples (U, V) où $U = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{pmatrix}$ et $V = \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{y1} \\ v_{x2} \\ v_{y2} \\ v_{x3} \\ v_{y3} \end{pmatrix}$.

Par exemple effectuer depuis le point $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ une translation de $400mm$ suivant l'axe $\vec{x}$ donne le couple (U_0, V_0) suivant :

$$\left(\begin{pmatrix} 400 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 30110 \\ -17327 \\ -30676 \\ -17198 \\ 972 \\ 35188 \end{pmatrix} \right) \tag{2.2}$$

Il reste à effectuer un grand nombre de mesure sur des coordonnées variées et d'ensuite identifier la matrice A au moyen d'un algorithme d'identification.

2.2 Code

L'identification est effectuée au moyen de la méthode ARMA sous SciLab grâce au script `unioc_asserv/scilab/adns_calibration.sci`.