UBO

labsticc.univ-brest.fr/pages_perso/babau/

Programmation NXC

Application à la commande d'un robot NXT Lego®

Jean-Philippe Babau

Département Informatique, UFR Sciences, UBO
Laboratoire Lab-STICC

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Plan

- Caractéristiques du robot NXT de Lego®
- Programmation du robot NXT
  - Gestion des entrées/sorties
- Not eXactly C : pas exactement du C
  - Langage de programmation proche du langage C
  - Programmation des briques NXT de Lego ®
- Programmation multi-tâches en NXC
  - Temps, tâches et synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Objectifs du cours

- Commande d'un robot NXT (Lego Mindstorms ®)
  - quatre types de capteur (contact, luminosité, Ultra Son, micro)
  - trois actionneurs (3 moteurs)
    - Capteurs de suivi (tours, puissance)
  - un générateur de son
  - quatre boutons
  - un écran LCD
  - une connexion bluetooth
  - une connexion USB
- Structure d'un programme NXC
  - main, données, algorithmes, fonctions
- Structure d'un programme multi-tâches NXC
  - Temps, tâches, synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

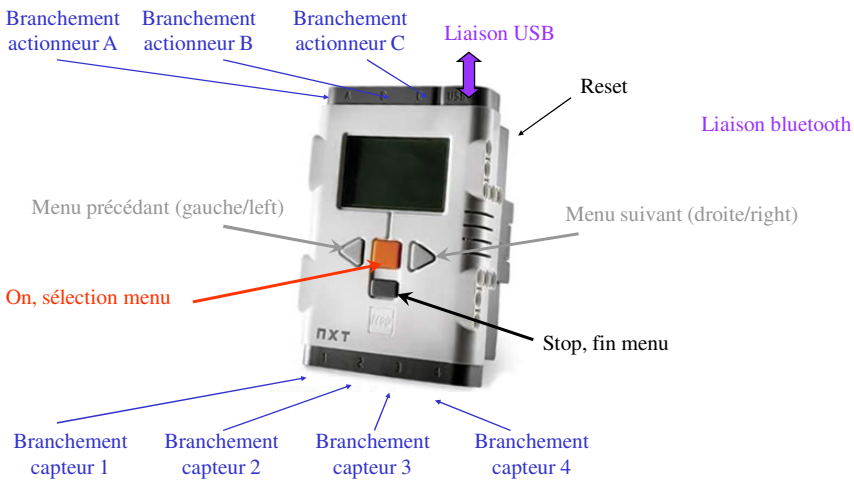
Plan

- Caractéristiques du robot NXT de Lego®
- Programmation du robot NXT
  - Gestion des entrées/sorties
- Not eXactly C : pas exactement du C
  - Langage de programmation proche du langage C
  - Programmation des briques NXT de Lego ®
- Programmation multi-tâches en NXC
  - Temps, tâches et synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

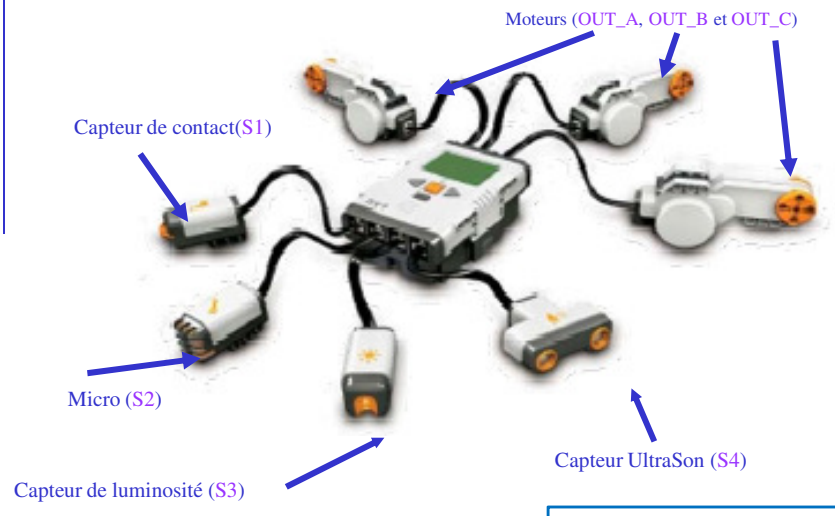
Le robot NXT



jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Le robot et ses périphériques



jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Block Diagram

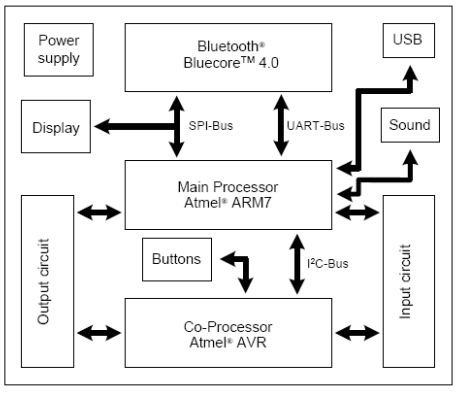


Figure 1: Hardware block diagram of the NXT brick

Atmel® 32-bit ARM7® processor
- AT91SAM7S256
- 256 Ko FLASH (1000 pages de 256 octets), 64 Ko RAM, 48 MHz

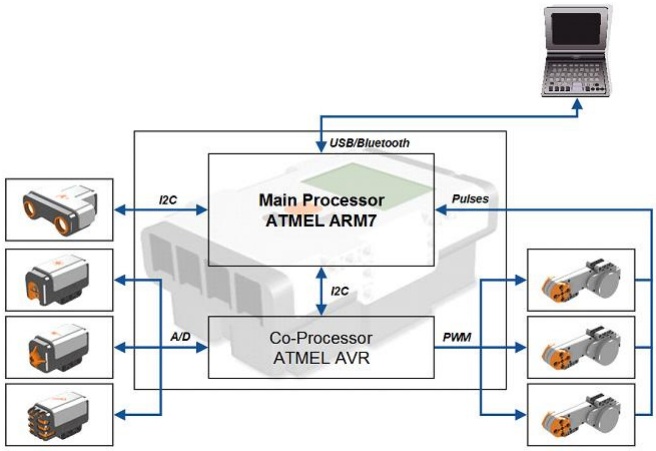
Atmel® 8-bit AVR processor
- ATmega48
- 4 Ko FLASH, 512 Octets RAM, 8 MHz

CSR BlueCoreTM 4 v2.0
- 47 Ko RAM, 8 MBit FLASH, 26 MHz
- Supporting the Serial Port Profile (SPP)
- full speed port (12 Mbit/s)

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Schéma des connexions



jean-philippe.babau@univ-brest.fr

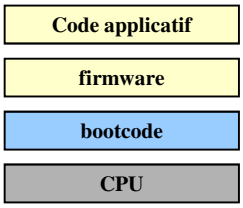
INSA de Lyon

Architecture matérielle et logicielle

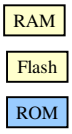
- Logiciels
  - Bootcode
    - Initialisation de la carte
    - Gestion des entrées, sorties
    - Communication USB
  - Firmware
    - API du lego
    - Services d'accès aux entrées et aux sorties
    - Exécutif multitâches
    - Par défaut : code interprété

C:\Program Files\LEGO Software\LEGO MINDSTORMS NXT\engine\Firmware\ LEGO MINDSTORMS NXT\Firmware v1.05.rfw

- Autres firmwares : leJOS(NXJ), robotc(C) (lejos.sourceforge.net, www.robotc.net)



- Mémoires
  - ROM : mémoire persistante, en lecture seule
  - Flash : mémoire persistante, en lecture / écriture
    - Fichiers (programmes, log, traces, images et sons)
  - RAM : mémoire volatile (persistante si alimentée)
    - Exécution des programmes



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

UBO

Programmation

- Développement croisé
  - Machine hôte (PC, Mac) : développement et mise au point
  - Machine cible (NXT) : exécution d'un programme
  - Liaison USB : téléchargement, suivi *et communications*
- Environnement de développement (*Bricx Command Center* ou *BricxCC*)
  - Éditeur de langage NXC
  - Compilation (*Compile*) et téléchargement (*Download*)
  - Diagnostic de la carte
  - Gestion distante des fichiers et des programmes (*NeXT Explorer*)
  - Suivi des variables (*Watch*)
  - Contrôle à distance (*Tools/Diagnostics*)
    - Lejos : librairie de services JAVA de commandes distants
  - Sous Vista : Ordinateur -> C:\Programmes\BricxCC\BricxCC.exe
  - Plus d'informations sur http://bricxcc.sourceforge.net/
- Simulation
  - Simulation de l'exécution sur machine hôte avec Lejos

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Quelques problèmes …

- Le robot n'est pas visible par le logiciel
  - Allumer le robot !
  - *Tools / Find Brick*
- Plus de piles
  - Penser à re-télécharger le firmware (?)
- Reset (bouton à l'arrière du robot, niveau port USB)
  - Rester appuyé au moins 2 secondes
  - Penser à re-télécharger le firmware (?)
- Téléphones, PDA, …
  - Interférences avec la liaison bluetooth
  - Interférence IR avec le capteur de luminosité

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Plan

- Caractéristiques du robot NXT de Lego®
- Programmation du robot NXT
  - Gestion des entrées/sorties
- Not eXactly C : pas exactement du C
  - Langage de programmation proche du langage C
  - Programmation des briques NXT de Lego ®
- Programmation multi-tâches en NXC
  - Temps, tâches et synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les capteurs : configuration

- 4 capteurs (numérotés 0,1, 2 et 3)
  S1, S2, S3 et S4
- Un type

SENSOR_TYPE_NONE	capteur générique passif
SENSOR_TYPE_TOUCH	capteur de contact
SENSOR_TYPE_LIGHT	capteur de luminosité
SENSOR_TYPE_SOUND_DB	capteur de son
SENSOR_TYPE_LOWSPEED	capteur I2C (capteur Ultra Son)
SENSOR_TYPE_ROTATION	capteur de rotation

- Un mode

SENSOR_MODE_RAW	intervalle entre 0 et 1023
SENSOR_MODE_BOOL	booléen (0 ou 1)
SENSOR_MODE_EDGE	nombre de tranistions booléennes
SENSOR_MODE_PULSE	nombre de périodes booléennes
SENSOR_MODE_PERCENT	valeur entre 0 et 100

- Une configuration : un type + un mode

configuration	**Type**	**Mode**
SENSOR_TOUCH	SENSOR_TYPE_TOUCH	SENSOR_MODE_BOOL
SENSOR_LIGHT	SENSOR_TYPE_LIGHT	SENSOR_MODE_PERCENT
SENSOR_PULSE	SENSOR_TYPE_TOUCH	SENSOR_MODE_PULSE

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les capteurs : initialisation

- Initialiser via le type et le mode

```
SetSensorType(sensorNumber, type);          SetSensorType(S1, SENSOR_TYPE_TOUCH);
SetSensorMode(sensorNumber, mode);          SetSensorMode(S1, SENSOR_MODE_BOOL);
```

- Initialiser via la configuration

```
SetSensor(sensorNumber, configuration);     SetSensor(S1, SENSOR_TOUCH);
```

- Initialiser via une procédure spécifique

```
SetSensorTouch(sensorNumber);               SetSensorTouch(S1);
// capteur de contact, 1 appuyé; 0 : relâché
SetSensorLight(sensorNumber);
// capteur de luminosité, échelonné de 0 à 100
SetSensorSound(sensorNumber);
// capteur de son, échelonné de 0 à 100
SetSensorLowspeed(sensorNumber);
// capteur Ultra Son, étalonné en cm (0-255 : proc. 8 bits)
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les capteurs : les actions

- Récupérer une information d'un capteur

```
int Sensor(n);          // renvoie la valeur du capteur n
int SensorUS(n);        // renvoie la valeur du capteur I2C n (capteur Ultra Son)

x = Sensor(S1) ;        // lit S1 et sauvegarde la valeur dans x
```

Sensor(S1) et SENSOR_1 sont équivalents

- Remettre à 0 un capteur cumulatif

```
ClearSensor(sensorNumber);          ClearSensor(S1);
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les capteurs : les retours

- Capteur de contact

```
SetSensorTouch(S1);
Sensor(S1)                  // capteur appuyé : 1, relâché 0
```

- Remettre à 0 un capteur cumulatif

```
ClearSensor(sensorNumber);          ClearSensor(S1);
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les boutons

- Les boutons (0 à 3)
  BTNEXIT, BTNRIGHT, BTNLEFT et BTNCENTER
  BTN1, BTN2, BTN3 et BTN4
- Les actions

```
int ButtonCount(buttonNumber, reset);
// renvoie le nombre de fois où le bouton buttonNumber a été appuyé, remise a 0 si reset est égal à true

int ButtonPressed(buttonNumber, reset);
// renvoie si le bouton buttonNumber est appuyé, remise a 0 du nombre d'appui si reset est égal à true
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les actionneurs

- 3 actionneurs, 4 combinaisons d'actionneurs (numérotés 0,1 et 2; puis 3,4,5 et 6)
  OUT_A, OUT_B, OUT_C
  OUT_AB, OUT_AC, OUT_BC, OUT_ABC

- Commande en puissance
  - pourcentage % [-100,100]

```
OnFwd(outputs, power);   OnFwd(OUT_A, 75);     // OUT_A en avant à 75%
                         OnFwd(OUT_A, -75);    // OUT_A en arrière à 75%
OnRev(outputs, power);   OnRev(OUT_AC, 75);    // OUT_A et OUT_C en arrière à 75%
```

- Arrêt

```
Float(outputs); // arret avec freinage

Off(outputs);   // arret sans freinage
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les actionneurs : les actions spécitifiques

- Commande en position

```
RotateMotor(outputs, power,angle);

RotateMotor(OUT_C, 75, -180);          // OUT_C fait un demi tour arrière
```

- Commande PID en position

```
RotateMotorPID(outputs, power,angle,P,I,D);
```

P : gain proportionnel, I : effet mémoire, D : évolution (dérivée)

- Commande en vitesse

```
OnFwdReg(outputs, power, OUT_REGMODE_SPEED) ;
// la vitesse est maintenue constante (accélération si nécessaire)
```

- Commande synchronisée

```
OnFwdReg(outputs, power, OUT_REGMODE_SYNC) ;
// la vitesse de tous les moteurs désignés par outputs est identique
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Tests PID

- Primitive : **RotateMotorPID**(OUT_A , 100 , 360, P, I , D); // OUT_A fait un tour à vitesse maximale

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 50, 0 , 0);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 200, 0 , 0);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 1000, 0 , 0);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 0, X , X);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 40, 40 , 0);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 40, 40 , 90);

  RotateMotorPID(OUT_A , 100 , 360, 40, 40 , 200);

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Suivi des moteurs

- Suivi de la commande

  MotorActualSpeed(**output**); // renvoie la puissance envoyée sur le moteur output

- Suivi des rotations effectuées
  - Angles
  - Attention : compte remis à 0 à chaque nouvelle commande

  MotorTachoCount(**output**); // renvoie le nombre de degrés effectués sur le moteur output

  ResetTachoCount(**output**); // remise à 0 du nombre de degrés sur le moteur output

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Le son

- 1 générateur de son
  - Un son à la fois, attendre la fin du précédant pour jouer le suivant
- Jouer une mélodie

```
PlayFileEx("soundFile.rso ", volume, repeat);

// jeu de file.rso avec un volume de 0 à 4, repeat à true pour  jouer en boucle
```

  - Création d'un fichier .rso avec BrickPiano de BricxCC
  - Création d'un fichier rso avec l'outil wav2rso (accessible sur le site web de lego)
- Jouer une fréquence

```
PlayToneEx(frequency, duration, volume, bloop);
PlayTone(frequency, duration);

// duration en ms, bloop à true pour un son en boucle

PlayTone(440, 1000); // joue do durant 1 seconde
```

- Arreter

```
StopSound();
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

L'affichage via l'écran LCD

- Caractéristiques
  - 100 pixels en largeur x 64 pixels en hauteur
  - 1 caractère : 8 pixels en hauteur, 6 pixels en largeur
  - 8 lignes (LCD_LINE1, …, LCD_LINE8)
    - Une ligne : 16 caractères
- Affichage
  - **X colonne, Y : ligne**

```
TextOut(X, Y, string, clear);
// affiche string à partir de la position X,Y, efface l'écran si clear est égal à true

NumOut(X, Y, value, clear);
// affiche value à partir de la position X,Y, efface l'écran si clear est égal à true

ClearScreen(); // efface l'écran

GraphicOut(X, Y, "GraphicFile.ric");
PointOut(X, Y);LineOut(X1, Y1, X2, Y2); CircleOut(X, Y, R); RectOut(X, Y, largeur, hauteur);
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

L'affichage via l'écran LCD

- Exemple

```
#define largChar 6

ClearScreen();                                  // efface l'écran
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD : ", false);    // affiche  test LCD :
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 11, false);             // affiche  test LCD : 11
NumOut(largChar*11, LCD_LINE3, 2, false);       // affiche  test LCD : 21  !!!
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 12, false);             // affiche   test LCD : 12
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 3, true);               // affiche                3
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD : ", false);    // affiche  test LCD : 3    !!!
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 14, false);             // affiche  test LCD : 14
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD :   ", false);  // affiche  test LCD :
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 2, false);              // affiche  test LCD : 2
TextOut(6*11, LCD_LINE3, "   ", false);         // affiche  test LCD :
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Les fichiers

- Caractéristiques
  - Nom du fichier : 19 caractères avec extension (20 caractères en mémoire, '\0')
  - Au 4 fichiers ouverts en même temps
- Création et connexion

```
CodeRetour CreateFile(string fileName, short size, byte handle);
// crée le ficher filename avec la taille size et renvoie handle
CodeRetour OpenFileAppend(string fileName, short size, byte handle);
// ouvre le ficher existant filename; renvoie la taille size et handle
CodeRetour CloseFile(byte handle);
// ferme le ficher caractérisé par handle
CodeRetour DeleteFile(string fileName);
// supprime le ficher caractérisé par filename
```

- Récupération des fichiers sur la machine de développement
  - NeXT Explorer du logiciel BricxCC
  - Si bug lors du remplissage du fichier : fichier non récupérable

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fichiers : opérations

```
WriteBytes(handle, array, nbOctets);
// écrit nbOctets octets du tableau array dans le fichier caractérisé par handle

ReadBytes(handle , nbOctets , buffer);
// lit nbOctets octets dans le fichier caractérisé par handle
// place les octets lus dans le tableau buffer et renvoie dans nbOctets le nombre d'octets lus

Write(handle, value);
WriteLn(handle, value);
// écrit value dans le fichier caractérisé par handle
// écrit value + CR+LF dans le fichier caractérisé par handle

WriteString(handle, chaine, nombreDeCaracteresEcrits);
WriteLnString(handle, chaine, nombreDeCaracteresEcrits);
// écrit chaine dans le fichier caractérisé par handle
// écrit chaine + CR+LF dans le fichier caractérisé par handle
// nombreDeCaracteresEcrits est un retour (passage par référence)

Read(handle, value);
ReadLn(handle, value);
// lit value dans le fichier caractérisé par handle
// lit value dans le fichier caractérisé par handle, puis lit CR et LF
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Communications Bluetooth

- Connexion
  - Communication : 1 Master / 3 Slave maximum
  - Débit : 57 600 octets /seconde
  - Connexion physique via les briques
    - Identifiant de connexion : Master : 0, Slave : 1, 2 ou 3
  - Vérification de la connexion

```
BluetoothStatus(connection);          // renvoie NO_ERR si la connection est ok
```

- Communication
  - Un message n'est considéré que si un programme s'exécute
  - 20 files circulaires (10 en entrée, 10 en sortie) par brique, 5 messages par file
  - Message de 58 octets au maximum (59 octets par message)

- Emission de chaînes de caractères
  - Master

```
SendRemoteString(connection , mbxNumber , message);
// envoie message, de type string, dans la file mbxNumber de connection
```

  - Slave

```
SendResponseString(mbxNumber , message);
// envoie message, de type string, dans la file mbxNumber du master
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Communication

- Emission de nombres (**autre que 0**)
  - Master

```
SendRemoteNumber(connection, mbxNumber, entier);
// envoie entier, de type int, dans la file mbxNumber de connection
```

  - Slave

```
SendResponseNumber(mbxNumber, entier);
// envoie entier, de type int, dans la file mbxNumber du master
```

- Réception de chaînes de caractères ou de nombre
  - **Lecture non bloquante**, renvoie 0 si pas de message
  - Master et Slave

```
ReceiveRemoteString(mbxNumber , clear, message);
// place dans message, de type string, le plus ancien message de la file mbxNumber; l'efface de la file si clear est égal à true
```

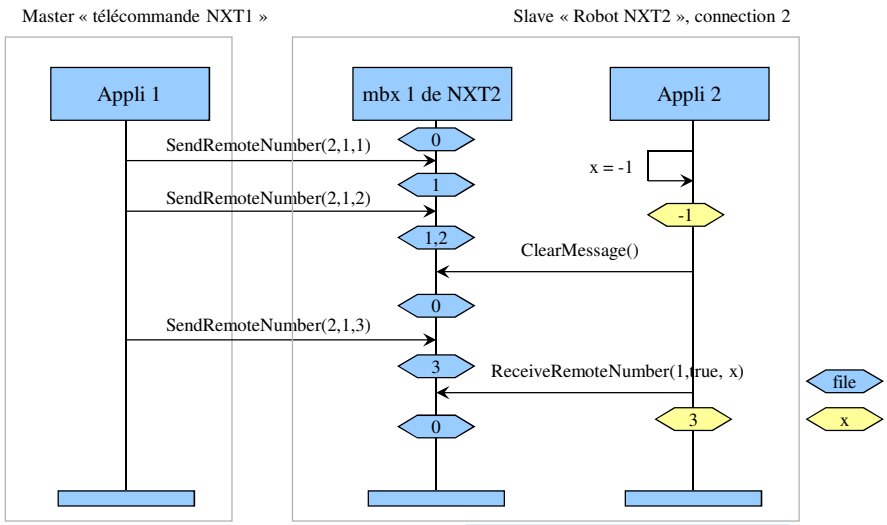
  - Master et Slave

```
ReceiveRemoteNumber(mbxNumber , clear, entier);
// place dans entier, de type int, la plus ancienne valeur de la file mbxNumber; l'efface de la file si clear est égal à true
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Exemple de communications



jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Communication

- Envoi et réception d'octets

```
RemoteBluetoothWrite(connection, mbxNumber , buffer);
// envoie entier, de type int, dans la file mbxNumber de connection

ReceiveBluetoothWrite(connection, mbxNumber , buffer);
// envoie entier, de type int, dans la file mbxNumber de connection
```

- Envoi de commandes de haut niveau

```
RemoteStartProgram(connection, "fileName.rxe");
RemoteSopProgram(connection);

RemoteSetInputMode(... ); RemoteSetOutputState(... ); ...
```

- Performances
  - Placer une attente (Wait(10);) entre deux appels à SendXX(…); ou BluetoothStatus(…);
  - Placer une attente (Wait(30);) entre deux appels à ReceiveXX(…); entre SendXX(); et ReceiveXX();
  - Débit applicatif
    - 1 entier : environ 100 ms (émission, switch réception / émission, …)

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Autres fonctions

- Générateur aléatoire

```
Random();                  // renvoie une valeur aléatoire sur 16 bits
Random(n);        // renvoie une valeur aléatoire sur 16 bits entre 0 et n (non compris)

n = Random(10);  // renvoie une valeur entre 0 et 9
```

- Niveau de batterie

```
BatteryLevel();    // renvoie le niveau de batterie en millivolts

x = BatteryLevel();
```

- Gestion du temps

```
Wait(nbTicks);    // attente de nbTicks ms
```

- Arrêt de l'application

```
StopAllTasks();            // arrêt du programme
Stop (condition);          // arrêt du programme si condition est égal a true
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Programme de commandes

- Une tâche principale
  - task main
  - Séquence de commandes

```
#include " NXCDefs.h“
/* pas obligatoire mais plus pratique : définitions de noms, de macros        */
/* peut etre automatiquement inclus, via l’environnement de développement     */

task main ()
{
    /* séquence de commandes */
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Plan

- Caractéristiques du robot NXT de Lego®
- Programmation du robot NXT
  - Gestion des entrées/sorties
- Not eXactly C : pas exactement du C
  - Langage de programmation proche du langage C
  - Programmation des briques NXT de Lego ®
- Programmation multi-tâches en NXC
  - Temps, tâches et synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Programme NXC

- Déclarations de données
  - Initialisation des données
  - Définition de constantes
- Tâche : séquences d'instructions
  - Commandes robot
  - Opérations sur des données
  - Appels de fonctions
  - Structures algorithmiques

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Introduction à NXC

- Not eXactly C : pas exactement du C
- Langage de programmation proche du langage C
  - Syntaxe C-like
- Programmation des briques NXT de Lego ®
  - Gestion des entrées / sorties
- Programmation multi-tâches

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Eléments syntaxiques

- Différence entre les minuscules et les majuscules
  - max et Max sont différents
- Liste de mots clés réservés
  - Cf. suite
- Identificateur
  - suite de lettres, chiffres, _ ne commençant pas par un chiffre

Ne_le	x1	_12	IF	: ok
2_A	2000	3A	if	: non ok

- Commentaires
  - /* commentaire a la C */
  - // commentaire a la C++

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Liste des mots clés

__RETURN__ __RETVAL__ __STRRETVAL__
__TMPWORD__ __TMPLONG__ __TMPBYTE__

abs	**asm**	**bool**	**break**	**byte**	**case**	**char**
const	**continue**	**default**	**do**	**else**	**false**	**for**
goto	**if**	**inline**	**int**	**long**	**mutex**	**priority**
repeat	**return**	**safecall**	**short**	**sign**	**start**	**stop**
sub	**switch**	**task**	**true**	**typedef**	**unsigned**	**until**
void	**while**					

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Les données

- Tout information manipulée par le programme
  - Constantes, variables
- Caractérisé par
  - un identificateur : nom pertinent
  - Une initialisation
  - **un commentaire**
- Types entier
  - entier sur 8 bits (1 octet) **: bool**, **byte**, **char**, **unsigned char**
  - entier sur 16 bits (2 octets) : **short, int** ([-32768,32767]), **unsigned int**
  - entier sur 32 bits (4 octets) : **long, unsigned long**
- Chaîne de caractère
  - Tableau de **byte : string**

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Les données

- Valeurs
  - décimal : 16 - 33
  - hexadécimal : 0x10
  - booléen : false(0), true(1) ; différent de 0 est vrai
- Déclaration de données

```
int nombreTour; // nombre de tours effectués
int missionTerminee = 0;
int a, b ;
```

- Déclaration de *constantes* (macro subsitution)

```
#define Annee 2007 // année courante à modifier selon la date
```

- Déclaration de tableaux

```
int lesPositions[10]; // ensemble des positions à atteindre
```

Déclaration de lesPositions[0], …, lesPositions[9]

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les tableaux de données

- Déclaration de tableaux

Déclaration de lesPositions[0], …, lesPositions[1]

```
int  lesPositions[] =  {43, 56 }        // ensemble des 2 positions à atteindre

int  lesPositions[2] ;                  // ensemble des 2 positions à atteindre

ArrayInit(lesPositions, 0, 10);         // initialisation du tableau

lesPositions[0] = 43;
lesPositions[1] = 56;
```

- Attention aux indices
  - ErrorFile à l'exécution si non respect des indices !!

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les tableaux à n dimensions

- Initialisation via ArrayInit
- Accès au tableau via un seul indice
- Pas d'affectation

```
int  historique1[] ;
int  historique2[] ;
int  coordonnees[] [] ;
ArrayInit (historique1,0, 10);                  // initialisation à 0
ArrayInit (historique2,0, 10);                  // initialisation à 0
ArrayInit (coordonnees, historique1, 2);        // initialisation à 0

// pour implémenter coordonnees[1] [4]= 34; faire
historique1[4] = 34;
coordonnees[1] = historique1;
// pour implémenter coordonnees[0] = coordonnees[1] ; faire
historique2 = coordonnees [1] ;
coordonnees [0] = historique2 ;
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les structures de données

- Déclarations, initialisation et utilisation

```
struct  robot
{
        string name;                    // nom du robot
        int puissance;                  // vitesse du robot
};

robot  monRobot ;                       // le robot

monRobot.name = " IUTA  ";
monRobot.puissance = 0;                 // le robot est arrêté au départ

OnFwd(OUT_A, 75);                       // le robot avance
monRobot.puissance = 75 ;
// affichage vitesse du robot
TextOut(0, LCD_LINE3, "Puissance demandee :  " , true);
NumOut(64, LCD_LINE3, monRobot.puissance , false);
```

- Affectation possible si même type

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les opérateurs

- Liste d'opérateurs

+	-	*	/ (division entière)	% (modulo)
++ (incrémentation)	-- (décrémentation)			
= (affectation)				
== (comparaison)	!=	<	>	<=	>=
! (négation logique)	&& (et logique)	|| (ou logique)		
<<, >> (décalages)	& (et bit à bit)	| (ou bit à bit)	^(xor bit à bit)	~(not bit à bit)

- exemples

```
5 / 4                   5 % 4                   32767 + 1

5 = = 4                 7 <= 19

! 5                     5 && 2
5 & 2                   3 || 0

int a = 5 ; a++ ;       a += 4;

a <<2 ;
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Priorité des opérateurs

- Priorité des opérateurs

  3 || 0 && 15 + 4 % 3 a + b * c

- Parenthésage

  (3 || 0) && 1 (5 + 4) % 3 a + (b * c)

  – Pas d'ambiguïté
  – Aide à la relecture du code

- macros

```
#define ABS(a)    if(a < 0) ? – (a) : (a)
#define SIGN(a)   if(a < 0) ? – 1 : 1
```


Les fonctions de base

- Fonctions sur les chaînes de caractères

```
x = StrToNum( str);      // renvoie la valeur numérique de str
str = NumToStr( x);      // renvoie la chaine de caractere composée de l'entier x
i = StrLen( str);        // renvoie la longueur de str (rem pour programmeur C : '\0' non compris)
str = StrCat( str1, str2); // str est composé de str1 suivi de str2
SubStr( string, index, length);   StrReplace( string, index, newString); …
```

- Fonctions sur les entiers

```
x = Sin( theta);         // theta en degrés, x : 100 fois le sin, valeur entre -100 et 100
x = Cos( theta);         // theta en degrés, x : 100 fois le cos, valeur entre -100 et 100
theta = Asin( x);        // renvoie le arcsin de 100 x, valeur entre -90 et 90
theta = Acos( x);        // renvoie le arccos de 100 x, valeur entre -90 et 90
x = Sqrt( y);            //  renvoie la racine carrée de y
dec = bcd2dec( hexa);    //  renvoie la valeur en décimal de hexa
```

UBO

Les structures algorithmiques

- condition
  - alternative : **if** (*expression*) *instructions* [**else** *instructions*]
  - cas_parmi : **switch** (*exp_entiere*)
    { **case** *valeur1* **:** *suite_instructions* **; break;**
    case *valeur2* **:** *suite_instructions* **; break ;**
    default : *suite_instructions* **; }**
- répétition
  - tant_que : **while** (*expression*) *instructions*
  - Jusqu'à : **do** *instructions* **while** (*expression*) **;**
  - Jusqu'à : **for(**instruction**;** expression**;** instruction**)** *instructions*
  - Répéter plusieurs fois : **repeat** (*expression*) *instructions*
- instruction
  - *instructions* **:** *instruction_simple* | *bloc*
  - *bloc* : **{** *suite_instructions* **}**
  - *instruction_simple* : *instruction* **;**
  - *suite_instructions : instruction_simple suite_instructions*

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

La structure alternative

- entier # booléen : 0 : faux, différent de 0 : vrai
- la condition est une expression

```
#define dureeTour 400 // durée de rotation

…
if ( Sensor(S1) )
// le capteur est appuyé
{
    OnFwd(OUT_A, 75); // tourne à droite
    Wait(dureeTour );
    Off(OUT_A); // arrêt
}
…
```

```
#define dureeTour 400 // durée de rotation

…
if ( Sensor(S1) )
// le capteur est appuyé
{
    OnFwd(OUT_A, 75); // tourne à droite
    Wait(dureeTour);
    Off(OUT_A); // arrêt
}
else
// le capteur est relâché
{
    OnFwd(OUT_A, 75); // tourne à gauche
    Wait(dureeTour);
    Off(OUT_C); // arrêt
}
…
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

La structure cas parmi

- pour éviter des conditions en cascade
- l'ordre des valeurs est sans importance, mais les valeurs sont différentes

```
int nb ; // …

…
switch  (nb)
{
        case 1 : OnFwd(OUT_A, 75);
                 Wait(dureeMarche);
                 Off(OUT_A);
                 break;
        case 3 : OnFwd(OUT_C , 75);
                 Wait(dureeMarche);
                 Off(OUT_C);
                 break ;
        default :
}
…
```


La structure tant que

- attention aux { }

```
#define dureeAction 100 // durée pour une action d'avancement
#define nbActionsMax 5 // nombre d'actions à faire
int nbActions; // nombre d'actions en cours
…
// intialisation des données pour l'expression
nbActions = 0;

while ( nbActions < nbActionsMax)
{
                OnFwd(OUT_AC , 75);
                Wait(dureeAction);
                Float(OUT_AC);
                nbActions ++;
}
/* il faut s'assurer  que l'action modifie les données
afin que l'expression soit fausse à  un moment donné */
…
```

UBO

Les autres formes de structures de boucle tant que

- Tâches répétitives
  - tâches de contrôle, de suivi

```
while (Sensor(S3) != valeurRecherchee )
{
        /* traitements */
}
```

- Boucles infinies
  - tâches de contrôle, de suivi

```
while ( 1 )
{
        /* attente ou vérification */

        /* traitements */
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

La structure repeat

- Nombre d'itérations connues

```
int nbActionsAFaire = 5; // nombre d'actions à faire

repeat(nbActionsAFaire) // repeat(expression)
{
        OnFwd(OUT_AC , 75);
        Wait(dureeAction);
        Float(OUT_AC);
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

La structure for

- Nombre d'itérations connues

```
int nbActionsAFaire = 5; // nombre d'actions à faire

int i ; // compteur

for(i =0; i< nbActionsAFaire ; i++)
{
        OnFwd(OUT_AC , 75);
        Wait(dureeAction);
        Float(OUT_AC);
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fonctions NXC

- Syntaxe

```
[safecall] [inline] typeRetour name(liste_des_arguments)
{
    // instructions
}
```

- Fonctions
  - 256 fonctions au maximum
    - y compris le main et les tâches
  - Pas de déclaration
  - inline
    - un appel entraîne la recopie du code de la fonction
    - Attention à la taille finale du code !
  - Code non réentrant
    - Cf. multitâches

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fonctions NXC

- Entrées
  - Par valeur : int
  - Par valeur constante : const int
  - Par référence : int&
  - Par référence, valeur constante : const int &
- Retour
  - Type standard
  - Pas de retour : void

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fonctions NXC

Passage par valeur : **int**

```
void foo(int x)
{
        x = 2;
}

task main()
{
        int y = 1;          // y est égal à 1
        foo(y);             // y reste égal à 1
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fonctions NXC

Passage par valeur constante : **const int**

```
void foo(const int x)
{
        int z;
        z= x;          // ok
        x = 1;         // erreur car x ne peut pas être modifié (const)
}

task main()
{
        int y;
        foo(2);                 // ok
        foo(4*5);               // ok - l'expression est une constante
        foo(y);                 // erreur, y n'est pas une constante
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les fonctions NXC

Passage par référence : **int &**

```
void foo(int & x)
{
        x = 2;
}

task main()
{
        int y = 1;     // y est égal à 1
        foo(y);        // y est maintenant égal à 2
        foo(2);        // erreur,  seules les variables ont des références
}
```

Passage par référence constante, peu utile: **const int &**

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les directives de compilation

- **#define**
  - Macro substitution avant compilation
  - Définition d'une variable de compilation
  - **#undef** : fin de la définition, fin de la macro substitution
- **#include**
  - Inclusion de fichier

```
#include "foo.nxc" // ok

#include <foo.nxc> // erreur en NXC
```

- **#if, #ifdef, #ifndef, #else, #endif**
  - Directives de compilation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Inclusion multiples de fichiers

- Directive pour assurer l'inclusion unique d'un fichier
  - Pas de multiples déclarations

```
#ifndef FILENAME
#define FILENAME

    #include " fichiersUtilises "

    // instructions NXC

#endif
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Plan

- Caractéristiques du robot NXT de Lego®
- Programmation du robot NXT
  - Gestion des entrées/sorties
- Not eXactly C : pas exactement du C
  - Langage de programmation proche du langage C
  - Programmation des briques NXT de Lego ®
- Programmation multi-tâches en NXC
  - Temps, tâches et synchronisation

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Les tâches

- Toujours une tâche principale
  - task main ()
  - Lancée au début de l'application
- Nombre de tâches limité par la plateforme
  - 256 tâches ou fonctions (y compris le main)
- Définition d'une tâche
  - Pas de paramètres
  - Pas de retour

```
task maTache ()
{
        /* séquence de commandes */
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Gestion des tâches

- Lancement/arrêt de tâches
  - start taskName;
  - Precedes (taskName1, taskName2);
  - *stop taskName;*

```
task readSensor()
{
    while( 1 )
    {
        if ( Sensor(S1) )
        {
            // stop controlRobot;
        }
    }
}

task controlRobot()
{
    …
}
```

```
task main ()
{
    SetSensorTouch(S1);
    Precedes( controlRobot, readSensor);
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Tâches régulières

- Maîtrise des dates d'activation des actions
  - Scrutation périodique
  - Commande régulière
- Limitation de l'occupation du processeur

```
#define ATTENTE 1000 // période d'attente égale à 1 seconde

task readSensor()
{
    while( 1 )
    {
        Wait(ATTENTE  ); // mise en sommeil de la tâche pour ATTENTE * 1 ms

        position = Sensor(S1) ; // acquisition
        …
    }
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Gestion du temps

- Tick
  - Précision : 1ms
- Wait (timeout)
  - Attente en ms
  - Paramètre : unsigned int (environ 1 minutes de 0 à 65535)
  - Attention : pas de valeur négative, sinon attente longue …
- Primitives

```
x = CurrentTick();      // renvoie le temps en ms, type unsigned long (4 octets) (environ 50 jours)
x = FirstTick();        // renvoie le temps en ms où le programme a été lancée
```

- Arrêt programmé de la brique

```
SleepTimer();           // renvoie la valeur du compteur d'arrêt de la brique
SetSleepTime(tps);      // intialise la valeur du compteur d'arrêt automatique à tps minutes
SleepTime();            // renvoie le temps courant restant avant l'arrêt automatique
ResetSleepTimer();      // remise à 0 du compteur d'arrêt automatique (évite l'arrêt)
SetSleepTimer(tps);     // initialise le compteur courant d'arrêt automatique à tps minutes
SleepNow();             // arrêt de la brique
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Partage de données

- Partage d'une variable entière
  - Déclaration globale
- Partage par mutex

```
int x ; // variable partagée entre T1 et T2

task T1()
{
   ...
   x = a - b; // opération non atomique
   ....
}

task T2()
{
   ...
   y = x ; // la valeur de x, et donc de y, n'est pas garantie
   ....
}
```

```
int x ; // variable partagée entre T1 et T2
mutex prot_x ; // mutex de protection de x

task T1()
{
   ...
   Acquire(prot_x );
      x = a - b; // opération protégée
   Release(prot_x );     ....
}

task T2()
{
 int y ;      ...
   Acquire(prot_x );
      y = x ; // la valeur de x est garantie
   Release(prot_x );     ....
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Déclenchement d'une tâche

```
#define ATTENTE 100

task readSensor()
{
    start controlRobot;

    while( 1 )
    {
        if (Sensor(S1))
        {
            Wait(ATTENTE);

            start controlRobot;

        }
    }
}
```

```
task controlRobot()
{
    …
}
```

relance la tâche au début

```
task main ()
{
    SetSensorTouch(S1);
    start readSensor;
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

UBO

Scrutation des capteurs

```
#define  ATTENTE 100  // tester 10, 100, 1000, 5000

task switchMotor()
{
    bool running = true;
    OnFwd(OUT_A, 75);
    while( true )
    {
        if (Sensor(S1) &&  running)
        {
            running = false;
            Off(OUT_A);
            Wait(ATTENTE );
        }
        if (Sensor(S1) &&  ! running)
        {
            running = true;
            OnFwd(OUT_A, 75);
            Wait(ATTENTE );
        }
    }
}
```

```
task main ()
{
    SetSensorTouch(S1);
    start switchMotor;
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Ordonnancement des tâches

- Ordonnancement par partage de temps
- Comportement du moteur A ?
- Attention à ne pas multiplier les tâches
  - Partage et cohérence de données
  - Synchronisation des actions

```
int go = 0 ; // déclenchement des moteurs

task Commande()
{
      if (go = = 1)
      {
            OnFwd(OUT_A,75);
      }
}

task Arret()
{
     if (go = = 0)
     {
      Off(OUT_A);
      }
}

task Go()
{
     go = 1;
}
```

```
task main()
{
      Precedes(Go , Commande , Arret);
}
```

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Mise en place de tâches

- Conception
  - Tâche de démarrage
    - Initialisations et activations des autres tâches
  - Tâches de réaction à un événement externe ou un événement programmé
    - Un nouveau message
    - Une nouvelle mesure (capteurs)
    - Une alarme programmée sur un dépassement de timeout
  - Tâches régulières
    - Scrutation de capteurs
    - Gestion des actionneurs
    - Suivi du fonctionnement (*monitoring*)
- Programmation
  - main
  - Tâches régulières
    - while(1) { Wait(Attente); *Actions* } ou while(1) {*Actions* Wait(Attente);}
  - Tâches « en continu »
    - while(1) { *Actions* }
  - Tâches activées par une autre tâche
    - start *taskName*;

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Conclusion

- Robot
  - Langage de programmation de haut niveau
    - Langage interprété
  - Communications
    - Capteurs : l'utilisation dépend de la configuration
    - Moteurs : commande en vitesse, en position (PID)
    - IHM : 3 boutons et un écran (8 lignes x 15 colonnes, graphique 100x64 pixels), générateur de sons
    - Gestion de fichiers (4 au maximum et taille limitée)
    - Communication bluetooth (1 Master/3Slaves)
    - Batterie : suivi
- Programmation
  - NXC
    - pas de pointeurs
    - fonctions non réentrantes
  - Présentation du code
    - commentaires, indentation, choix des noms de variables, définition des constantes
- Multitâches
  - Précision du temps : 1ms
  - Mise en place des tâches : main, tâches régulières, tâches continues
  - Attention au partage des données et à la synchronisation : utilisation du mutex

jean-philippe.babau@univ-brest.fr

Références utilisées pour faire ce cours

« Not eXactly C (NXC) Programmer's Guide» Version 1.0.1 b33, by John Hansen, Oct 2007
http://bricxcc.sourceforge.net/nqc/

« Programming Lego NXT Robots using NXC» Version 2.1, by Danielle Benedetti, April 2007
http://people.cs.uu.nl/markov/lego/

« LEGO ® MINDSTORMS® NXT » Hardware Developer Kit

jean-philippe.babau@univ-brest.fr