

Programmation NXC

Application à la commande d'un robot NXT Lego®

Jean-Philippe Babau

Département Informatique, laboratoire CITI
INSA Lyon

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

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@insa-lyon.fr

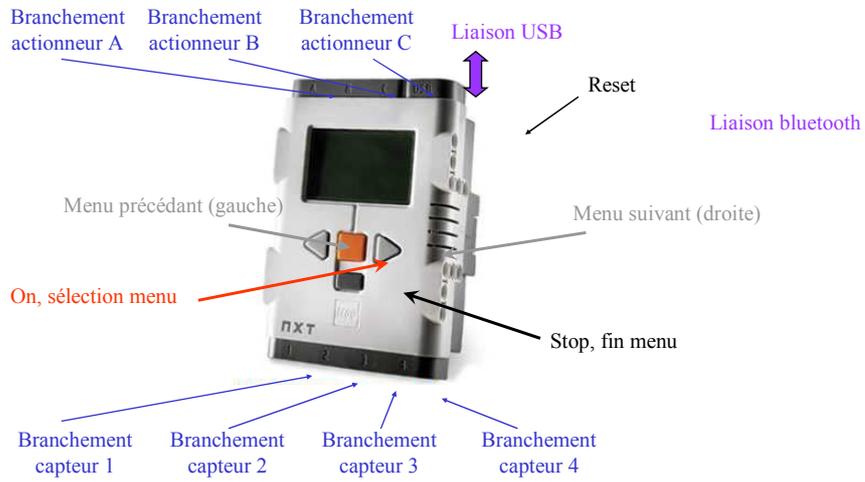
Objectifs du cours

- 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

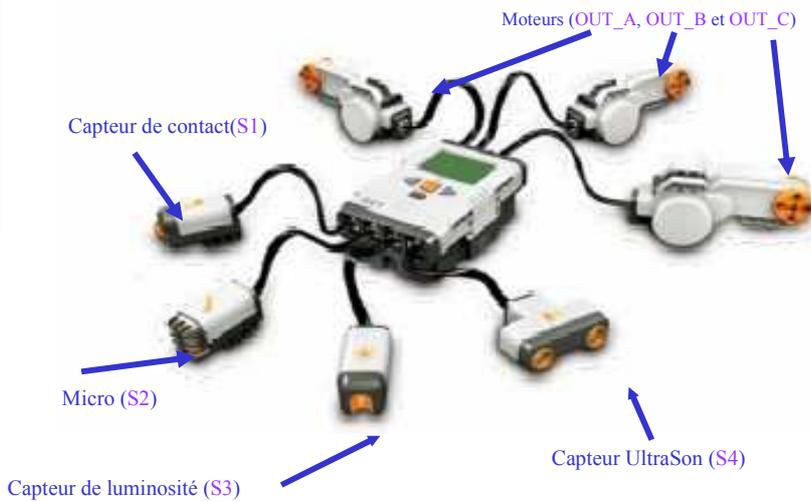
Plan

- **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

Le robot NXT



Le robot et ses périphériques



Block Diagram

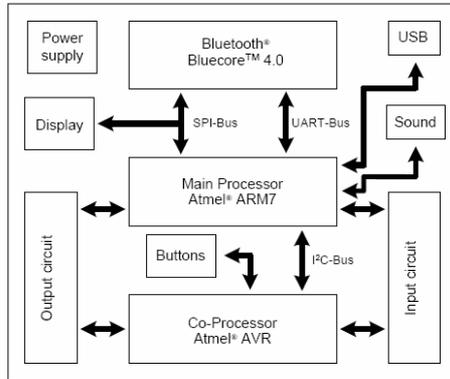


Figure 1: Hardware block diagram of the NXT brick

- Atmel® 32-bit ARM7® processor
 - AT91SAM7S256
 - 256 KB FLASH, 64 KB RAM, 48 MHz
- Atmel® 8-bit AVR processor
 - ATmega48
 - 4 KB FLASH, 512 Byte RAM, 8 MHz
- CSR BlueCore™ 4 v2.0
 - 47 KByte RAM, 8 Mbit FLASH, 26 MHz
 - Supporting the Serial Port Profile (SPP)
 - full speed port (12 Mbit/s)

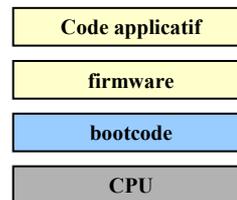
Architecture matérielle et logicielle

- 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
- RAM : mémoire volatile (persistante si alimentée)



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
 - C:\Program Files\BricxCC\BricxCC.exe
 - Plus d'informations sur <http://bricxcc.sourceforge.net/>
- Simulation
 - Simulation de l'exécution sur machine hôte avec Lejos

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)
 - Penser à re-télécharger le firmware (?)
- Téléphones, PDA, ...
 - Interférences avec la liaison bluetooth
 - Interférence IR avec le capteur de luminosité

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

Les capteurs : configuration

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

SENSOR_TYPE_NONE SENSOR_TYPE_TOUCH SENSOR_TYPE_LIGHT SENSOR_TYPE_SOUND_DB SENSOR_TYPE_LOWSPEED SENSOR_TYPE_ROTATION	capteur générique passif capteur de contact capteur de luminosité capteur de son capteur I2C capteur de rotation
--	---
- Un mode

SENSOR_MODE_RAW SENSOR_MODE_BOOL SENSOR_MODE_EDGE SENSOR_MODE_PULSE SENSOR_MODE_PERCENT	intervalle entre 0 et 1023 booléen (0 ou 1) nombre de transitions booléennes nombre de périodes booléennes valeur entre 0 et 100
---	--
- Une configuration : un type + un mode
configuration

SENSOR_TOUCH SENSOR_LIGHT SENSOR_PULSE	Type SENSOR_TYPE_TOUCH SENSOR_TYPE_LIGHT SENSOR_TYPE_TOUCH	Mode SENSOR_MODE_BOOL SENSOR_MODE_PERCENT SENSOR_MODE_PULSE
--	--	---

Les capteurs : les actions

- Initialiser le type, le mode, la configuration

```
SetSensorType(sensor, type);      SetSensorType(S1, SENSOR_TYPE_TOUCH);
SetSensorMode(sensor, mode);     SetSensorMode(S1, SENSOR_MODE_BOOL);
SetSensor(sensor, configuration); SetSensor(S1, SENSOR_TOUCH);
```

- Récupérer une information d'un capteur

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

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

SENSOR_1 et Sensor(S1) sont équivalents

- Remettre à 0 un capteur cumulatif

```
ClearSensor(sensor);      ClearSensor(S1);
```

Les capteurs : les actions

- Configurations spécifiques

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

- Les boutons (0 à 3)

BTNEXT, BTNRIGHT, BTNLEFT et BTNCENTER
BTN1, BTN2, BTN3 et BTN4

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

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

Les actionneurs : configuration

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

- Arrêt

Float(outputs); // arrêt sans freinage

Off(outputs); // arrêt avec freinage

Les actionneurs : les actions

- Commande en position

RotateMotor(outputs, power, angle);

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

- Commande PID de la 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

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);
```

## Suivi des moteurs

- Suivi de la commande
    - `MotorActualSpeed(output);` // renvoie la puissance envoyée sur le moteur output
  - Suivi des rotations effectuées
    - Angles
    - 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
```

Le son

- 1 générateur de son
 - Un son à la fois, attendre la fin du précédent 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
```
- Arrêter


```
StopSound();
```

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

L'affichage via l'écran LCD

- Caractéristiques
 - 100 x 64 pixels
 - 8 lignes (`LCD_LINE1`, ..., `LCD_LINE8`)
 - 1 caractère : 8 pixels en hauteur, 6 pixels en largeur
- 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@insa-lyon.fr

L'affichage via l'écran LCD

- Exemple

```
#define largChar 6

ClearScreen();
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD : ", false);
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 11, false);
NumOut(largChar*11, LCD_LINE3, 2, false);
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 12, false);
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 3, true);
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD : ", false);
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 14, false);
TextOut(0, LCD_LINE3, "test LCD : ", false);
NumOut(6*11, LCD_LINE3, 2, false);
TextOut(6*11, LCD_LINE3, " ", false);

// efface l'écran
// affiche test LCD :
// affiche test LCD : 11
// affiche test LCD : 21 !!!
// affiche test LCD : 12
// affiche      3
// affiche test LCD : 3 !!!
// affiche test LCD : 14
// affiche test LCD :
// affiche test LCD : 2
// affiche test LCD :
```

Les fichiers

- Caractéristiques
 - Nom : 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 fichier filename avec la taille size et renvoie handle
CodeRetour OpenFileAppend(string fileName, short size, byte handle);
// ouvre le fichier existant filename; renvoie la taille size et handle
CodeRetour CloseFile(byte handle);
// ferme le fichier caractérisé par handle
CodeRetour DeleteFile(string fileName);
// supprime le fichier 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

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);
// écrit value dans le fichier caractérisé par handle
WriteString(handle, string, nombreDeCaractères);
// écrit value dans le fichier caractérisé par handle

Read(handle, value);
// lit value dans le fichier caractérisé par handle

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

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

```

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


```

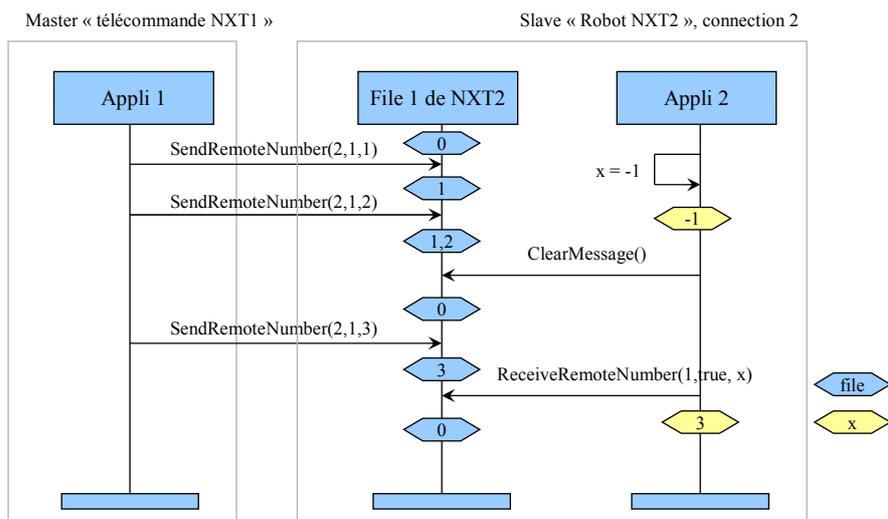
SendResponseString(mbxNumber , message);
// envoie message, de type string, dans la file mbxNumber du master

```

Communication

- Emission de nombres (**autre que 0**)
 - Master
`SendRemoteNumber(connection, mbxNumber, entier);`
// envoi entier, de type int, dans la file mbxNumber de connection
 - Slave
`SendResponseNumber(mbxNumber, entier);`
// envoi 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

Exemple de communications



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);`
 - `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, ...)

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

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 être automatiquement inclus, via l'environnement de développement */  
  
task main ()  
{  
    /* séquence de commandes */  
}
```

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

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

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

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++

Liste des mots clés

<u>__RETURN__</u>		<u>__RETVAL__</u>		<u>__STRRETVAL__</u>		
<u>__TMPWORD__</u>		<u>__TMPLONG__</u>		<u>__TMPBYTE__</u>		
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					

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 !!

Les structures de données

- Déclarations, initialisation et utilisation

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

```
robot monRobot; // le robot
```

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

```
OnFwd(OUT_A, 75); // le robot avance
```

```
monRobot.vitesse = 75 ;
```

```
// affichage vitesse du robot
```

```
TextOut(0, LCD_LINE3, "Vitesse : ", true);
```

```
NumOut(64, LCD_LINE3, monRobot.vitesse, false);
```

- Affectation possible si même type

Les opérateurs

- Liste d'opérateurs

+	-	*	/ (division entière)	% (modulo)	
++ (incréméntation)	-- (décréméntation)				
= (affectation)	!=	<	>	<=	>=
! (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 ;

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 chaîne de caractère 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
```

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*

La structure alternative

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

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

if (SENSOR_1)
// le capteur est appuyé
{
    OnFwd(OUT_A, 75); // tourne à droite
    Wait(dureeTour);
    Off(OUT_A); // arrêt
}
```

```
if (SENSOR_1)
// 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
}
```

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

// initialisation 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 */
```

Les autres formes de structures de boucle tant que

- Tâches répétitives
 - tâches de contrôle, de suivi

```
while ( SENSOR_1 != valeurRecherchee )
{
    /* traitements */
}
```

- Boucles infinies
 - tâches de contrôle, de suivi

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

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);
}
```

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);
}
```

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

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

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
}
```

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
}
```

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 &`

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

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
```

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

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 */
}
```

Gestion des tâches

- Lancement/arrêt de tâches
 - `start taskName;`
 - `stop taskName;`

```
task readSensor()
{
    while(1)
    {
        if( SENSOR_1 == 1 )
        {
            stop controlRobot;
        }
    }
}

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

task controlRobot()
{
    ...
}
```

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_1 ; // acquisition
        ...
    }
}
```

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

Gestion du temps

- Tick
 - Précision : 1ms
- Wait (timeout)
 - Attente en ms
 - Paramètre : **unsigned int**
 - **Attention** : pas de valeur négative, sinon attente très longue ...
- Primitives
 - CurrentTick(); // renvoie le temps en ms, type unsigned long (4 octets)
 - 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); // initialise 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@insa-lyon.fr

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 n'est pas garantie
  ...
}
```

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

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

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

Problème de synchronisation : redémarrage d'une tâche

```
task readSensor()
{
  int running = 1;
  start controlRobot;
  while( 1 )
  {
    if ( (SENSOR_1 == 1) && (running == 1) )
    {
      running = 0;
      stop controlRobot;
      Wait(2000);
    }
    if ( (SENSOR_1 == 1) && (running == 0) )
    {
      running = 1;
      start controlRobot;
      Wait(2000);
    }
  }
}

task main ()
{
  SetSensor(SENSOR_1,SENSOR_TOUCH);
  start readSensor;
}

task controlRobot()
{
  ...
}
```

relance la tâche au début

Ordonnancement des tâches

- Ordonnancement non prédictible
- Comportement du moteur A 
- Attention à ne pas multiplier les tâches
 - Partage et cohérence de données
 - Synchronisation des actions

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

```
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;
}
```

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*;

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

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/nxc/>

« 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