

## RT2 - MQX Real Time Programming

### Real-time programming applied to the MQX operating system

#### Objectives

- Discover the concepts of real time multitasking
- Understand Real Time constraints
  - Determinism
  - Preemption
  - Interrupts
- Understand the MQX architecture
- Discover the various MQX services and APIs
- Learn how to develop MQX applications
- Learn how to debug MQX applications
- Learn how to use MQX Library (USB, TCP/IP, File System, Embedded GUI)
- Get an overview on Cortex-M4 architecture

#### Course environment

- Convenient course material with space for taking notes
- Example code, labs and solutions
- A PC under Windows XP for two trainees
- A NXP Kinetis K60 (Cortex/M4) with CodeWarrior IDE

#### Prerequisites

- Familiarity with embedded C concepts and programming
- Basic knowledge of embedded processors

#### Environnement du cours

- Cours théorique
  - Support de cours au format PDF (en anglais) et une version imprimée lors des sessions en présentiel
  - Cours dispensé via le système de visioconférence Teams (si à distance)
  - Le formateur répond aux questions des stagiaires en direct pendant la formation et fournit une assistance technique et pédagogique
- Activités pratiques
  - Les activités pratiques représentent de 40% à 50% de la durée du cours
  - Elles permettent de valider ou compléter les connaissances acquises pendant le cours théorique.
  - Exemples de code, exercices et solutions
  - Pour les formations à distance:
    - ▶ Un PC Linux en ligne par stagiaire pour les activités pratiques, avec tous les logiciels nécessaires préinstallés.
    - ▶ Le formateur a accès aux PC en ligne des stagiaires pour l'assistance technique et pédagogique
    - ▶ Certains travaux pratiques peuvent être réalisés entre les sessions et sont vérifiés par le formateur lors de la session suivante.
  - Pour les formations en présentiel:
    - ▶ Un PC (Linux ou Windows) pour les activités pratiques avec, si approprié, une carte cible embarquée.
    - ▶ Un PC par binôme de stagiaires s'il y a plus de 6 stagiaires.

- Pour les formations sur site:
  - ▶ Un manuel d'installation est fourni pour permettre de préinstaller les logiciels nécessaires.
  - ▶ Le formateur vient avec les cartes cible nécessaires (et les remporte à la fin de la formation).
- Une machine virtuelle préconfigurée téléchargeable pour refaire les activités pratiques après le cours
- Au début de chaque session (demi-journée en présentiel) une période est réservée à une interaction avec les stagiaires pour s'assurer que le cours répond à leurs attentes et l'adapter si nécessaire

## Audience visée

- Tout ingénieur ou technicien en systèmes embarqués possédant les prérequis ci-dessus.

## Modalités d'évaluation

- Les prérequis indiqués ci-dessus sont évalués avant la formation par l'encadrement technique du stagiaire dans son entreprise, ou par le stagiaire lui-même dans le cas exceptionnel d'un stagiaire individuel.
- Les progrès des stagiaires sont évalués de deux façons différentes, suivant le cours:
  - Pour les cours se prêtant à des exercices pratiques, les résultats des exercices sont vérifiés par le formateur, qui aide si nécessaire les stagiaires à les réaliser en apportant des précisions supplémentaires.
  - Des quizz sont proposés en fin des sections ne comportant pas d'exercices pratiques pour vérifier que les stagiaires ont assimilé les points présentés
- En fin de formation, chaque stagiaire reçoit une attestation et un certificat attestant qu'il a suivi le cours avec succès.
  - En cas de problème dû à un manque de prérequis de la part du stagiaire, constaté lors de la formation, une formation différente ou complémentaire lui est proposée, en général pour conforter ses prérequis, en accord avec son responsable en entreprise le cas échéant.

## Plan

### First day

## MQX at a Glance

- MQX overview
- Organization of MQX
- MQX directory structure
  - RTOS directory
  - PSP, BSP, I/O and others source subdirectories
- Initializing and starting MQX
- Developing with NXP CodeWarrior Development Studio
  - Build projects
  - PSP build-project
  - BSP build-project
  - Post-build processing

*Exercise : Creating a simple MQX (only one task) project using NXP CodeWarrior Development Studio*

## Introduction to Real Time

- Base real time concepts
- The Real Time constraints
- Multi-task and real time

## Thread safe data structures

- Need for specific data structures
- Thread safe data structures
  - Linked lists
  - Circular lists
  - FIFOs

- Stacks
- Data structures integrity proofs
  - Assertions
  - Pre and post-conditions

*Exercise : Build a general purpose thread safe doubly linked list*

## Second day

### Memory Management

- Memory management algorithms
  - Buddy System
  - Best fit
  - First Fit
  - Pools Management
- Understand how MQX RTOS Manages Memory
  - Memory with variable-size blocks
  - Lightweight memory with variable-size blocks
  - Memory with fixed-size blocks
  - Creating partitions
  - Allocating and freeing partition blocks
- Memory management errors
- Stack monitoring
- Controlling caches and MMU Overview (not present on K60 MCU)

*Exercise : Write a simple, thread safe, buddy system memory manager*

*Exercise : Write a generic, multi-level, memory manager*

*Exercise : Enhance the memory manager for memory error detection*

*Exercise : Detect stack overflow*

### Element of a real time system

- Tasks and Task Descriptors
  - Content of the task descriptor
  - List of task descriptors
- Context Switch
- Task Scheduling and Preemption
  - Tick based or tickless scheduling
- Scheduling systems and schedulability proof
  - Fixed priorities scheduling
  - RMA and EDF scheduling

### Managing and Scheduling tasks with MQX

- Managing Tasks
  - Creating tasks
  - Managing task errors
  - Terminating tasks
- Scheduling
  - FIFO scheduling
  - Round Robin scheduling

*Exercise : Creating your first multi-task project*

## Third day

### Timing with MQX RTOS

- Time components
- Timers

- Lightweight timers
- Watchdogs
- Hardware Timer on Cortex-M4

*Exercise : Turn a LED on and off using software timers*

## **Interrupt Management in Real Time Systems**

- Need for interrupts in a real time system
  - Software Interrupt
  - Time Interrupts
  - Device Interrupts
- Level or Edge interrupts
- Hardware and Software acknowledge
- Interrupt vectoring
- Interrupts and scheduling
- Handling Interrupts and Exceptions in MQX RTOS
  - Initializing interrupt handling
  - Restrictions on ISRs
  - Handling exceptions
  - Handling ISR exceptions
  - Handling task exceptions
- Handling Interrupts on Cortex-M4

*Exercise : Synchronize Interrupts with tasks*

## **Synchronization Primitives (1/2)**

- Waiting and waking up tasks
- Semaphores
- Events
- Semaphores and Events through MQX RTOS
  - Events
  - Lightweight events
  - Lightweight semaphores
  - Semaphores

*Exercise : Synchronizing a task with another*

## **Fourth day**

## **Synchronization Primitives (2/2)**

- Mutual Exclusion
  - Spinlocks and interrupt masking
  - Mutex or Semaphore
  - Recursive or not recursive mutexes
  - Priority inversion problem
  - Priority inheritance (the automatic answer)
  - Priority ceiling (the design centric answer)
- Mutexes and condition variables
- Mutual Exclusion through MQX RTOS
  - Priority inversion
  - Priority inheritance
  - Priority protection
  - Mutexes
- Mailboxes
- Using Mailboxes through MQX RTOS
  - Messages
  - Queues
  - Task Queues

*Exercise : Implement mutual exclusion between two tasks*

*Exercise : Synchronizing tasks using queues*

## Parallelism Problems Solution

- Parallel programming problems
  - Uncontrolled parallel access
  - Deadlocks
  - Livelocks
  - Starvation

*Exercise : The producer-consumer problem, illustrating (and avoiding) concurrent access problems*

*Exercise : The philosophers dinner problem, illustrating (and avoiding) deadlock, livelock and starvation*

## Debugging the application

- Instrumentation
  - Logs
  - Lightweight logs
  - Kernel logs
  - Stack usage utilities
- Run-Time Testing
- Embedded Debug

*Exercise : Debug an application with the log component*

## Fifth day

## Developing a New BSP

- Selecting a Baseline BSP
- Modifying Source Code

## USB Library

- USB Host/Device Library Description
- USB Host/Device Stack Directory Structure
- USB Host and USB Device APIs Overview

*Exercise : Run a NXP USB HID Example*

## File System (MFS) Library

- MFS at a Glance
- MFS API Overview

*Exercise : Use of MFS accessing the SPI-connect SD Card*

## Shell Library

- Shell Library Overview

## TCP/IP Stack (RTCS) Library

- RTCS Library Overview
- Setting up the RTCS
- Using Sockets
- RTCS API Overview
- RTCS Applications

*Exercise : Shell Command line providing microprocessor state information Demo*

*Exercise : Simple Web Server Demo*

## Embedded GUI Library

- eGUI Library Overview

- Graphic Object Description
- Structure of Project with eGUI
- Driver API Overview

*Exercise : Embedded GUI Demo*

## Renseignements pratiques

**Durée : 5 jours**

**Prix : 2100 € HT**