

Título: Flexibilidade e Pontualidade em Sistemas de Tempo-Real baseados em Barramentos de Campo.

Title: *Flexibility and Timeliness in Fieldbus-based Real-time Systems.*

Autor/Author: Luís Miguel Pinho de Almeida

Orientador/Advisor: José Alberto Gouveia Fonseca

Data Apresentação/Acceptance Date: 12/11/1999

Palavras Chave: Sistemas de Tempo-Real, Comunicações Industriais, Escalonamento Tempo-Real de Mensagens, Barramentos de Campo.

Key Words: *Real-Time Systems, Industrial communications, Real-Time Message Scheduling, Fieldbuses.*

Doutoramento/Ph.D.

Resumo

Os sistemas de controlo automático distribuído são um tipo de sistemas de tempo-real que está presente em muitos sectores fundamentais da actividade humana. Por exemplo, uma das suas aplicações típicas é em sistemas de automação industrial, a vários níveis, incluindo o nível de campo. Aqui é comum utilizar-se um sistema de comunicação série partilhado com topologia de barramento para interligar os vários equipamentos de campo tais como sensores, actuadores, reguladores, controladores programáveis (PLCs), máquinas ferramentas com controlo numérico (CNCs), etc. Tal sistema de comunicação é normalmente designado por barramento de campo e desempenha um papel fundamental no suporte à correcta operação de todo o sistema de controlo distribuído.

Entre várias características que se esperam de um barramento de campo, salientam-se as seguintes: capacidade de transferir frequentemente pequenos blocos de dados (apenas alguns *bytes*) sujeitos a restrições temporais; a capacidade de fornecer garantias de que as restrições temporais dos diferentes fluxos de dados serão satisfeitas; a capacidade para suportar requisitos de comunicação dinâmicos, uma questão básica quando se fala de flexibilidade operacional, i.e. a possibilidade de se efectuarem alterações em-linha à configuração operacional do sistema ou a alguns dos seus parâmetros operacionais.

Os barramentos de campo existentes comercialmente satisfazem normalmente a primeira característica, bem como uma das duas seguintes mas não ambas. Alguns privilegiam as garantias temporais sacrificando a flexibilidade operacional, outros favorecem a flexibilidade em detrimento de tais garantias.

Esta dissertação suporta a tese de que um escalonamento de tráfego por planos permite combinar as duas referidas características. Este tipo de escalonamento, apresentado no texto, usa um conceito de tabela dinâmica para aliar a detecção antecipada de violações às restrições temporais com a capacidade de suportar requisitos de comunicação dinâmicos o que lhe confere flexibilidade operacional.

É também apresentado um protocolo de controlo de admissão de alterações aos requisitos de comunicação que permite obter garantias sobre o cumprimento das restrições temporais quer do tráfego no barramento quer do

escalonador no respectivo nodo hospedeiro. O primeiro aspecto baseia-se em análises de escalonabilidade de tráfego que podem ser generalizadas para escalonamento não-preemptivo de tarefas recorrentes usando inserção de tempo-morto. O segundo aspecto baseia-se num modelo parameterizado do tempo de execução do escalonador, deduzido a partir da descrição algorítmica do respectivo programa.

A dissertação também inclui uma discussão sobre a aplicabilidade do escalonamento por planos ao barramento de campo WorldFIP e a barramentos baseados no protocolo CAN – *Controller Area Network*. Particularmente para este segundo caso, é apresentado um novo protocolo de comunicação: FTT-CAN, *Flexible Time-Triggered communication on CAN*, que se baseia no escalonamento por planos e que apresenta um conjunto de características bem adaptadas às necessidades das aplicações de controlo distribuído.

Abstract

Distributed Computer Control Systems (DCCS) are a type of real-time systems present in many fundamental sectors of human activity. For example, they are typically found in industrial automation systems, at various levels, including the field level. There, a communication system normally using a shared broadcast bus topology is used to interconnect several pieces of field equipment such as sensors, actuators, regulators, programmable logic controllers (PLCs), machine tools with computerised numerical control (CNC), etc. Such communication system is known as fieldbus and plays a fundamental role in supporting a correct operation of the whole DCCS.

Among several characteristics which a fieldbus system is expected to have, the following ones are particularly important: the ability to support frequent exchanges of short pieces of data (a few bytes at most) under time constraints; the ability to deliver guarantees that the time constraints of the different flows of information will be met; the ability to support dynamic communication requirements which is essential for operational flexibility, i.e. the possibility to change the system operational configuration or some of its operational parameters at run-time.

Existing fieldbus systems normally fulfil the first aspect and one of the remaining two, but not both. Some privilege the guarantees for timely behaviour sacrificing flexibility, others favour operational flexibility in detriment of timeliness guarantees.

This dissertation supports the thesis that by using a planning scheduler to manage the bus traffic it is possible to combine both aspects. This type of scheduler, presented in the text, uses a dynamic table concept to merge a look ahead feature, that allows to detect in advance violations to the time constraints, with a capacity to cope with dynamic communication requirements, thus supporting operational flexibility.

An on-line admission control protocol is also presented that allows to obtain guarantees that both the bus traffic

will meet its time constraints as well as the scheduler task in the respective host node. The first aspect is based on schedulability analysis which can be generalised for non-preemptive scheduling of recurrent tasks using inserted idle-time. The second aspect is based on a parameterised model of the scheduler execution time which is deduced from the algorithmic description of the scheduler program.

The dissertation also includes a discussion on the applicability of the planning scheduler in the WorldFIP fieldbus as well as in CAN-based systems. Particularly in this second case, a new communication protocol is presented, FTT-CAN: Flexible Time-Triggered communication on the Controller Area Network, that uses the planning scheduler and that bears several features well adapted to the requirements of DCCS applications.

Resumé

Les systèmes distribués de commande automatique sont un type de systèmes temps réel présents dans beaucoup de domaines de l'activité humaine. Ils se trouvent, par exemple, dans les systèmes automatisés de production, à plusieurs niveaux. Au niveau du terrain, on trouve normalement un système de communications basé sur un moyen de transmission partagé (un bus), où plusieurs unités se vont connecter: des capteurs, des actionneurs, des automates programmables, des machines outils à commande numérique,... Ces systèmes sont connus par le nom de réseaux de terrain, et ils jouent un rôle fondamental dans la bonne marche d'un système distribué de commande par ordinateur.

Parmi les caractéristiques qu'on espère de trouver dans un réseau de terrain, quelques unes sont de primordiale importance, telles que: la capacité de supporter des échanges fréquentes de petites quantités de données (quelques octets au maximum) sous des contraintes temporelles; la capacité d'offrir des garanties pour que les contraintes temporelles imposées aux différents flous de données soient respectées; la capacité de supporter des communications à caractéristiques dynamiques, ce qui est essentiel pour la flexibilité opérationnelle, c'est à dire, la possibilité de changer en-ligne la configuration du système ou la valeur de quelques paramètres.

Les réseaux de terrain existants sont capables de respecter le premier aspect et l'un des deux suivants, mais pas tous en même temps. Quelques uns préfèrent de donner l'avantage au comportement temporelle, au dépend de la flexibilité; d'autres favorisent la flexibilité en détriment des garanties pour le respect des contraintes temporelles.

Cette thèse se base sur le concept que, à travers l'utilisation d'un ordonnanceur basé sur des plans pour la gestion du trafic sur le réseau, il est possible de faire la combinaison de ces deux aspects, la flexibilité et le respect des contraintes temporelles. Un tel ordonnanceur utilise le concept d'un tableau dynamique, qui permet la fusion d'une capacité de prévoyance, en anticipant des possibles problèmes de respect des contraintes temporelles, avec la gestion des requis de changement dynamique des caractéristiques du trafic dans le réseau, en garantissant la flexibilité opérationnelle.

Il est aussi présenté un protocole de contrôle d'admission en-ligne qui permet d'obtenir des garanties pour que le trafic dans le réseau respecte ses contraintes temporelles, aussi bien que l'ordonnanceur dans le noeud où il s'exécute. Le premier aspect est basé sur l'analyse de l'ordonnancibilité qui peut être généralisée pour l'ordonnancement non-préemptive des tâches. Le deuxième aspect est basé sur un modèle paramétré du temps d'exécution de l'ordonnanceur.

Cette thèse comprend aussi une discussion sur l'application de l'ordonnanceur basé sur des plans aux cas de WorldFIP et CAN. Dans ce dernier cas, on présente un nouveau protocole de communication, FTT-CAN: Flexible Time Triggered communication on CAN, qui utilise l'ordonnanceur à plans et qui présente des caractéristiques qui le rendent adéquat aux demandes des systèmes distribués de commande automatique.