

# SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE MENSAGENS NO SISTEMA FIELDBUS FOUNDATION COM ALGORITMOS GENÉTICOS

ADILSON S. ENGELMANN, DANILO J. DE CASTRO JR., LÚCIA R. H. R. FRANCO, GERMANO L. TORRES

*Departamentos de Eletrônica e Eletrotécnica  
Escola Federal de Engenharia de Itajubá  
Av. BPS, 1303  
Itajubá, Brasil  
37500-903*

*E-mails: adilson\_e@yahoo.com.br, danilo.castro@uol.com.br,  
lfranco@iee.efei.br, germano@iee.efei.br*

**Resumo**— Este trabalho considera o protocolo Fieldbus Foundation, e o uso do método de otimização denominado algoritmo genético, para resolver o problema de escalonamento de mensagens cíclicas e acíclicas. O sistema de controle com tecnologia Fieldbus usa uma estratégia de controle composta por blocos funcionais. Estes blocos transmitem as mensagens no barramento e devem ser escalonadas com suas restrições temporais sendo garantidas. Os passos do algoritmo são os seguintes: o cromossomo (possível solução) é definido como uma ligação dos valores a ser escalonado; a avaliação do desempenho de cada cromossomo é feita através de parâmetros das mensagens; estas informações são usadas para ajustar cada cromossomo (adaptabilidade), para a geração de uma nova população; a repetição do ciclo é feita até o término do número de gerações definidas pelo usuário. A cada geração é encontrado o melhor valor de escalonamento. Finalmente, apresentam-se os resultados práticos.

**Abstract**— This work considers Fieldbus Foundation protocol, and the use of the optimization method denominated genetic algorithm to solve the scheduling problem of cyclic and acyclic messages. The control systems with Fieldbus technology uses control strategy composed by function blocks. These blocks transmit the messages in the bus, which must be scheduled, and their temporal constraints must be guaranteed. It describes the steps of the algorithm that have been made as follow: the chromosome (possible solution) is defined as a link of the scaling adjustment values; the check of the performance of each chromosome it is rolled up from a initial set of possible parameters; these information are used for set up each chromosome adjustment (adaptability) and the making of a new population; the cycle repetition is made up to completion of the defined generations number made by the user. To each generation it is found the best values set for the scheduling parameters. Finally, it presents the practical results.

**Keywords**— Fieldbus Foundation, scheduler, genetic algorithm, crossover

## 1 Introdução

Este trabalho apresenta os aspectos de um sistema Fieldbus, abordando o protocolo Fieldbus Foundation que basicamente consiste numa rede local (Local Area Network – LAN) utilizada pela indústria de processos e manufatura que permite a distribuição da aplicação de controle nos dispositivos através da rede. E o seu dispositivo de gerência da rede, o Link Active Scheduler (LAS).

Esta distribuição da aplicação é feita através de blocos funcionais nos dispositivos, que podem se comunicar por um barramento entre os dispositivos ou internamente dentro dos dispositivos.

O problema abordado refere-se ao escalonamento de mensagens (tais como: dados, status, configuração, etc) no barramento de comunicação. Com o aumento dos blocos funcionais usados pela aplicação do usuário, maior a quantidade de mensagens trocadas entre os dispositivos. Isto gera, portanto, uma maior disputa pela utilização do barramento. Cada mensagem deve obedecer seus tempos de validade e suas relações de precedência. Além disto, em cada instante de tempo somente uma única mensagem pode ser transmitida pelo barramento.

Para isto o trabalho apresenta como possível solução a utilização do método de otimização deno-

minado algoritmo genético. Este algoritmo genético é baseado no mecanismo de evolução das espécies. As principais características deste algoritmo são: a representação do problema através de um código, denominado cromossomo do indivíduo; uma função de avaliação deste cromossomo para uma possível solução do seu problema; cruzamentos e mutações para gerar novos indivíduos aumentando a busca da solução. Estes procedimentos vão gerar possíveis soluções até que seja encontrada a melhor solução para o seu problema.

## 2 Fieldbus

O Fieldbus é basicamente um sistema de comunicação de dados projetado especificamente para permitir adquirir dados do processo e controlá-lo, instalado em ambientes muitas vezes agressivos. É um sistema de comunicação digital, multiponto, bidirecional, serial, usado para a interligação de dispositivos de instrumentação e controle de processos [1][2].

O sistema Fieldbus Foundation, utilizado neste trabalho, é uma rede local (Local Area Network – LAN) utilizada pela indústria de automação de processos e manufatura que permite a distribuição da aplicação de controle nos dispositivos através da rede [1].

Com a distribuição das funções de controle, de entrada e saída nos dispositivos de campo podem ser construídas estratégias de controle apropriadas para a aplicação do usuário de forma padronizada. A Fieldbus Foundation definiu a padronização destas funções baseadas em blocos requeridos pela aplicação do usuário, denominados blocos funcionais.

Estes blocos funcionais são agrupados em três conjuntos específicos: bloco de recurso, onde são descritas as características do dispositivo fieldbus; bloco transdutor, que assume a função de entrada/saída local para que os blocos funcionais estejam desacoplados das operações de leitura de sensores e comandos de saída do hardware; e o bloco funcional, que implementa propriamente a função desejada, i.e., entrada analógica, saída analógica, controle PID, etc..

Uma aplicação pode ser constituída por muitos blocos funcionais. As mensagens dos blocos funcionais podem ou não necessitar do acesso ao barramento de comunicação. Esta necessidade é estabelecida em função do tipo de conexão, ou seja, se a conexão é interna ou externa ao dispositivo. Uma conexão externa é uma conexão entre blocos funcionais que se encontram em dispositivos diferentes. Portanto precisam usar o barramento para se comunicarem entre si (Fig. 1). Por outro lado, uma conexão interna ocorre no mesmo dispositivo e não utiliza do barramento (Fig. 1).

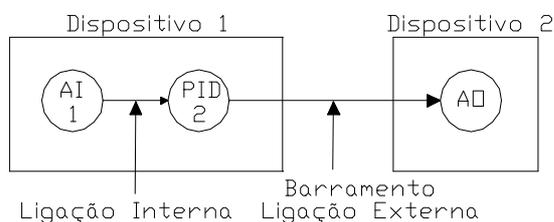


Figura 1 – Conexões entre blocos funcionais

Um outra importante função é a gerência do sistema. A gerência do sistema faz a sincronização da execução (escalamento) dos blocos funcionais que devem obedecer uma seqüência adequada. E além disto, coordena a comunicação entre mensagens dos blocos funcionais transmitidas através do fieldbus, ou seja, através de uma conexão externa entre blocos funcionais.

### 2.1 Escalonamento de Blocos Funcionais

Para a adequada operação do sistema, é necessária a utilização de um algoritmo responsável pela construção das tabelas do escalamento dos blocos funcionais e do escalamento da transmissão de mensagens existentes através do fieldbus. Estas tabelas são gerenciadas pelo Link Active Scheduler (LAS).

Estes escalamentos devem atender às restrições de tempo, tal como o período de cada malha de

controle, definida pelo usuário, conforme as exigências da aplicação.

Como resultado dos escalamentos obtém-se duas tabelas que contêm respectivamente o instante inicial da execução dos blocos funcionais e o instante inicial da transmissão das mensagens baseados no tempo base (referencial) ou base de tempo absoluto do escalonador do segmento de rede. Uma melhor visualização deste escalamento de blocos funcionais pode ser visto através de uma linha de tempo como ilustra a Fig. 2, que representa o escalonamento da aplicação ilustrada pela Fig. 1.

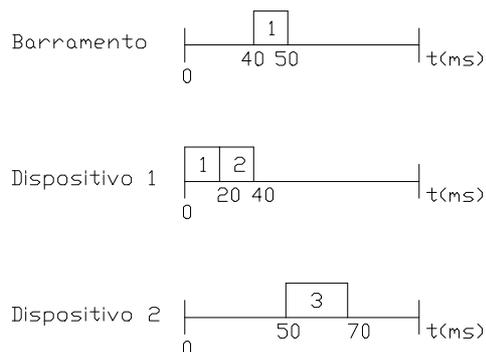


Figura 2 – Escalonamento de blocos funcionais

## 3 Descrição do Problema

Como descrito anteriormente uma aplicação em um sistema fieldbus pode necessitar de muitos dispositivos, contendo então muitos blocos funcionais cujas mensagens podem ou não utilizar o barramento. Isto implica em um compartilhamento do barramento por estes diversos blocos funcionais, requerendo então um perfeito gerenciamento de acesso dos dispositivos ao barramento, possibilitando que a comunicação seja feita entre eles nos instantes adequados. No entanto, existe uma relação entre o momento ideal de execução dos blocos funcionais e o momento ideal para a transmissão de suas mensagens. Na abordagem proposta o sincronismo entre eles é considerado ao se escalar as mensagens no barramento em função do processamento dos blocos funcionais. As mensagens serão transmitidas para o barramento em instantes fixos estabelecidos numa tabela conforme seu escalamento.

A cada instante de tempo o barramento pode transmitir apenas uma e somente uma mensagem por vez.

O problema em questão está na obtenção do escalamento da execução dos blocos funcionais em cada microprocessador contido em cada dispositivo e na obtenção de um adequado escalamento do barramento compartilhado pelas mensagens trocadas entre estes dispositivos. No entanto, estas mensagens somente são geradas após a execução dos seus respectivos blocos funcionais, criando, portanto, uma dependência entre seus escalamentos. Além

disto, poderão existir algumas relações de precedência entre mensagens, onde uma mensagem deve ser escalonada para transmissão pelo barramento, antes da outra mensagem a ela relacionada. Poderão também existir algumas restrições temporais, que deverão ser respeitadas tais como, o período de cada malha e a validade da mensagem a ser transmitida no barramento. Estas restrições temporais podem ser determinadas através de seus tempos de Release e Deadline. Onde Release é o instante inicial da mensagem no barramento, e Deadline é o instante final da mensagem para que ela ainda seja válida.

#### 4 Algoritmo Genético

A moderna teoria da evolução combina a genética com as idéias de Darwin e Wallace sobre a seleção natural, criando o princípio básico da Genética Populacional: a variabilidade entre indivíduos em uma população de organismos que se reproduzem sexualmente é produzida pela mutação e pela recombinação genética. Em 1975 Holland publicou o seu livro [3] que apresenta um método de otimização que imita o mecanismo adaptável de sistemas naturais [4].

Um algoritmo genético busca uma ótima solução por todo o espaço do problema a ser resolvido. Vários pontos deste espaço são explorados, formando a população. Cada ponto representa um indivíduo, onde este é representado por um código, o cromossomo, da solução de seu problema. Na busca da melhor solução estes indivíduos são submetidos a evoluções através de cruzamentos, mutações e são avaliados por uma função de aptidão para se obter o melhor indivíduo, ou seja, a melhor solução do seu problema em cada geração. Esta nova população é novamente submetida a cruzamentos, mutações e avaliações, até que se obtenha o melhor indivíduo concluindo-se o processo. Estas etapas são descritas nos itens seguintes.

##### 4.1 Representação do Cromossomo

A representação do cromossomo pode ser feita de diversas maneiras: números binários (“0” e “1”), números inteiros, etc.. Isto depende do problema que se quer analisar. Este cromossomo será uma possível solução do problema, por exemplo, a Figura 3 ilustra um cromossomo com a representação binária, onde cada bit representa um gene, ou seja uma característica do seu cromossomo. O tamanho do seu cromossomo, isto é, o número de genes também depende das características do problema a ser representado.

##### 4.2 Crossover

O processo de crossover ou cruzamento envolve um corte aleatório que será efetuado nos cromossomos

pais dos quais os genes serão trocado gerando dois descendentes (Fig. 4).

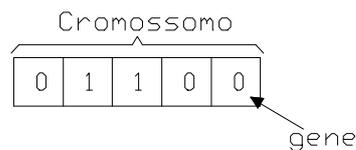


Figura 3 – Representação do cromossomo

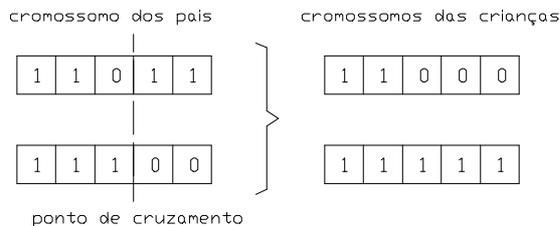


Figura 4 - Crossover

##### 4.3 Mutação

O processo de mutação é dado pela alteração de um ou mais genes de acordo com o valor de ajuste definido pelo usuário. A Fig. 5 ilustra este procedimento.

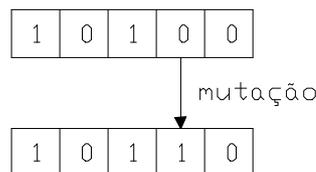


Figura 5 – Mutação

##### 4.4 Função de avaliação

Esta função avalia o nível de aptidão de cada cromossomo gerado pelos algoritmos. A função de avaliação é dado por:

$$f_{AV} = \frac{1}{1 + E} \quad (1)$$

Onde E é o critério desejado na resolução do problema

## 5 SOLUÇÃO UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO PARA UMA REAL APLICAÇÃO INDUSTRIAL

##### 5.1 Apresentação da Aplicação

A aplicação utilizada (Fig. 6) é uma aplicação industrial real e é formada por mais de uma malha de controle com períodos diferentes. Com isto deve-se fazer o cálculo do mínimo múltiplo comum entre eles para determinação do período global da aplicação.

Nesta aplicação os períodos das malhas são de 200ms e 400ms, malha superior e malha inferior respectivamente, gerando então um período global de 400ms, fazendo com que a malha de controle de 200ms seja executada duas vezes dentro do período global. A Fig. 6 ilustra esta aplicação.

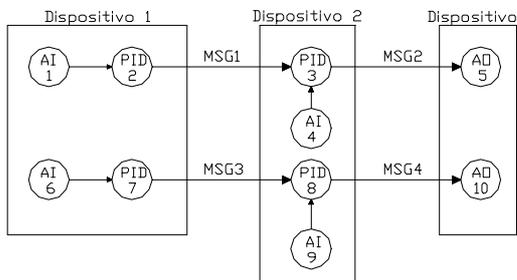


Figura 6 - Representação da Aplicação [5]

Onde: os círculos representam os blocos funcionais executados pelos dispositivos, e MSG representa uma mensagem que deve ser transmitida no barramento.

As Relações de Precedência das mensagens extraídas da aplicação (Figura 6) são: MSG1 precede MSG2, porque MSG1 deve ser transmitida anteriormente para a execução do PID3 para gerar MSG2, e analogamente MSG3 precede MSG4

### 5.2 População Inicial

O cromossomo é representado por duas partes: representação para os tempos no dispositivo e representação para os tempos no barramento. Cada dispositivo forma um cromossomo e seus genes representam um bloco funcional. A disposição no cromossomo representa a ordem de processamento. A Fig. 7 ilustra a representação dos dispositivos.

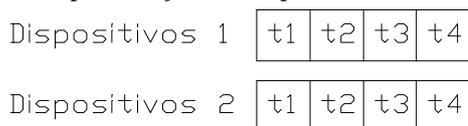


Figura 7 - Representação cromossomos Dispositivos.

O tempo de processamento para cada mensagem de cada dispositivo é calculado a partir de cada cromossomo.

Com as mensagens de cada dispositivo calcula-se os limites para cada Deadline e Release de cada mensagem, para que estes permaneçam dentro dos respectivos prazos de validade.

Dados os limites, são criados os cromossomos do BUS que possuem  $n$  genes. Nesta aplicação  $n=6$ .

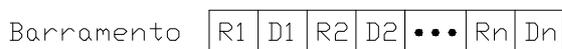


Figura 8 - Representação do cromossomo Barramento

Forma-se o indivíduo juntando estes cromossomos, como ilustra a Fig. 9.

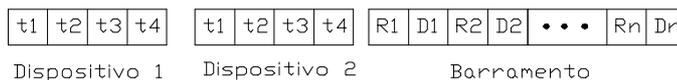


Figura 9 - Representação do cromossomo de um indivíduo

### 5.3 Avaliação

A função de aptidão indivíduo é feita jogando-se os valores numéricos do cromossomo nos tempos do barramento, do sistema Fieldbus e obtendo-se assim tempo total de processamento das malhas, verificando-se todos as condições temporais foram devidamente respeitadas.

Os melhores e piores tempos de processamento são obtidos através da equação:

$$E_{AV} = T_{INDIVIDUO} - T_{GLOBALPERIOD} \quad (2)$$

Pretende-se minimizar o valor de  $E_{AV}$ , como o Algoritmo Genético trabalha com a maximização de valores utiliza-se a função de avaliação (3) associando-se assim um valor para cada indivíduo.

$$f_{AV} = \frac{1}{1 + E_{AV}} \quad (3)$$

### 5.4 SELEÇÃO E CROSSOVER

Seleciona-se para o cruzamento os melhores indivíduos, realizando o crossover da seguinte forma: cada parte do cromossomo cruza-se entre si, isto é, cada parte do cromossomo que forma o indivíduo só se cruza com a parte correspondente no outro indivíduo. A Fig. 10 ilustra este procedimento.

A população gerada substitui totalmente a população anterior. Então os novos indivíduos são avaliados e reposicionados para novo cruzamento seguindo-se um looping até um critério de parada pré-definido, que pode ser um valor do  $T_{indivíduo}$  ou por número de geração.

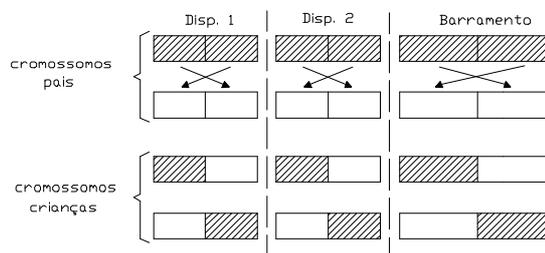


Figura 10 - Representação do crossover

Ferramentas genéticas variadas podem ser utilizadas para acelerar o processo, bem como retirar-lo de situações não factíveis (ex.: condições temporais não respeitadas), dependendo da necessidade ou complexidade da planta a ser escalonada.

## 6 Resultados

Os resultados são obtidos através de um programa, que faz o escalonamento da estratégia de controle.

No início são inseridos os valores da malha a ser escalonada. Tais como: o período de cada malha, o tempo de processamento dos dispositivos, o tempo de transferência do barramento e os valores de ajuste do algoritmo. Entre os valores de ajuste do algoritmo estão: o percentual de mutação, percentual de cruzamento e o número limite de gerações.

Com estes dados iniciais a população inicial pode ser gerada. Inicialmente os cromossomos discretivos são elaborados, através de uma representação em números inteiros dos elementos de cada dispositivo. Depois o cromossomo barramento é elaborado através de uma representação de números de 0 a 1. Estes números são aleatoriamente sorteados dentro de uma faixa que representa o Release e o Deadline da mensagem. Esta população será representada por 4 indivíduos diferentes.

Estes cromossomos então são analisados pela função de aptidão, obtendo assim o grau de aptidão de cada indivíduo. Depois são aplicados a função de avaliação para que se obtenha o melhor indivíduo. Caso este melhor indivíduo seja escolhido, o programa pára e esta solução é apresentada. Na não obtenção deste melhor indivíduo são sorteados aqueles que deverão participar do cruzamento e da mutação.

Aqueles indivíduos que tem um maior grau de aptidão já são automaticamente escolhidos para participar do cruzamento. Para completar a população, são sorteados através do método da roleta os próximos indivíduos. O método da roleta consiste em atribuir porcentagem ao grau dos indivíduos e aleatoriamente sortear números para que seja então escolhido um indivíduo. Assim estes fazem o cruzamento, e depois são sorteados alguns indivíduos para a mutação onde o ponto de mutação também é escolhido aleatoriamente.

Isto então forma a nova população que será submetida a estas etapas novamente. Um critério de parada adicional é o número de gerações definidas pelo usuário. Onde em cada geração o melhor indivíduo é armazenado. Caso não seja encontrado o melhor indivíduo pode-se obter uma solução com o melhor indivíduo de alguma geração encontrado até o momento.

O programa esta sendo submetido a teste práticos de malhas de controle diferentes para que sejam feitos ajustes no programa a fim de se otimizar os escalonamentos resultantes.

## 7 Conclusão

Através deste trabalho, pode-se analisar a viabilidade da utilização do algoritmo genético para a solu-

ção do escalonamento no sistema Fieldbus Foundation. Uma representação da possível solução utilizando um cromossomo dividido em partes: dispositivo e barramento.

O trabalho também apresenta um possível método para o escalonamento ideal da execução dos blocos funcionais, e o momento ideal para transmissão de suas mensagens, fazendo para isto o escalonamento das mensagens no barramento em função do processamento dos blocos funcionais. As mensagens serão então transmitidas para o barramento em instantes fixos conforme seu escalonamento.

## Agradecimentos

Este projeto agradece ao CNPq e a FINEP pelo projeto RECOPE – Subgrupo de Automação Industrial/Fieldbus.

## Referências Bibliográficas

- [1] FRANCO, L.R.H.R. Escalonamento de Mensagens para a Comunicação no Fieldbus. São Paulo, 1998, 124p., Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [2] FRANCO, L.R.H.R. RILLO M. Escalonamento de Mensagens no Fieldbus. I Workshop em Sistemas de Tempo Real. 16º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Rio de Janeiro, Maio 1998.
- [3] HOLLAND, J.H.. Adaptation In Natural And Artificial Systems. The University of Michigan Press, 1975.
- [4] FAUCOU, S.; DÉPLANCHE, A.-M.; BEAUVAIS, J.-P., Heuristic techniques for allocating and scheduling communicating periodic tasks in distributed real-time systems, Institute de Recherché en Communication et Cybernétique de Nantes, UMR CNRS 6597 –ECN, EMN, Université de Nantes.
- [5] HENRIQUES, A.M. Algoritmo de Escalonamento da Comunicação para o Fieldbus da Fieldbus Foundation, Itajubá, 2000, 78 p., Dissertação de Mestrado – Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
- [6] WHITLEY, D. A Genetic Algorithm Tutorial. Computer Science Department, Colorado State University