

Um Serviço Configurável de Sincronização de Relógios para o Sistema Operacional QNX

Alessandro Dario Agnoletto
Taisy Silva Weber

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Informática
Porto Alegre – Brasil
{agnolett,taisy}@inf.ufrgs.br

Resumo

O presente trabalho propõe um serviço de sincronização de relógios para o sistema operacional QNX [QNX93]. O serviço proposto deve poder ser ajustado para o tipo de aplicação de tempo real e ter acesso a uma fonte de tempo UTC através de um Receptor de Tempo GPS [DAN97]. O projeto inclui a implementação de um protocolo probabilístico [CRI89] e um protocolo determinístico [LAM85]. Os dois protocolos visam à sincronização externa, mas podem sofrer uma degradação para a sincronização interna (somente) quando não for possível o acesso ao tempo fornecido pela constelação GPS devido à falha desta ou do receptor. Pretende-se dispor este serviço para um sistema distribuído provido de sistema operacional QNX e rede Ethernet [TAN96]. Um protocolo de sincronização de relógios determinístico deve ser suportado por uma arquitetura de rede com atraso limitado no tempo de viagem de uma mensagem. Portanto, um anel lógico com passagem de *token* deve ser construído sobre a arquitetura nativa a fim de torná-la determinística. Com a construção do anel, devem ser levados em conta os efeitos colaterais ao funcionamento do sistema operacional.

Abstract

This paper considers a clock synchronization service for QNX operating system [QNX93]. The proposed service must be configurable according to the type of the real-time application and must have access to a UTC time source through a GPS Time Receiver [DAN97]. The design includes the implementation of a deterministic protocol [LAM85] and a probabilistic one [CRI89]. The two protocols aim external synchronization, but are able to degrade to internal synchronization (only) when the time provided by the GPS constellation is not available due to fault of this or from the receiver. It is intended to offer this service for a distributed system provided with QNX operating system and Ethernet [TAN96]. A clock synchronization deterministic protocol must be supported by a network architecture with limited message delay. Therefore, a logical ring with token passing must be placed over the native architecture to become deterministic. With the construction of the ring, the collateral effects to the functioning of the operating system must be studied.

1. Introdução

O surgimento dos sistemas distribuídos acabou com a existência de uma fonte comum de tempo para ordenação e cronometragem a todos os processos de um sistema, visto que estes podem se encontrar em máquinas diferentes. A solução para o problema consiste em usar o relógio físico local a cada máquina para manter, em cada uma, um relógio virtual. Os relógios virtuais, por sua vez, são sincronizados entre si por um *algoritmo de sincronização de relógios*.

Tal sincronização viabiliza a implementação de aplicações distribuídas que realizam atividades dependentes do tempo, tolerantes a falhas ou não. As aplicações tolerantes a falhas utilizam o serviço de sincronização como bloco básico para a construção de protocolos confiáveis [JAL94]. Para sistemas de tempo real, então, a sincronização de relógios pode ser vital para o sincronismo e ordenação de atividades entre processos. Em algumas destas aplicações, a diferença entre o tempo marcado por dois relógios (sincronização interna [JAL94][AGN97]) deve ser sempre mantida dentro um limite máximo pré-determinado (com tal limite dependendo da aplicação em questão). Para outras aplicações, a sincronização interna deve apenas ser procurada (não obrigatoriamente mantida sempre dentro do limite de diferença). Além disto, pode ser desejada uma sincronização relativa a uma fonte de tempo oficial (sincronização externa [JAL94][AGN97]).

Normalmente, as propostas de protocolos de sincronização de relógios consideram apenas um tipo de arquitetura de rede e, portanto, se classificam como protocolos de sincronização determinística (precisão e/ou acuidade garantida(s)) ou probabilística (precisão e/ou acuidade não garantida(s)) [JAL94][AGN97]. Em nenhum caso ainda conhecido consideram um serviço que possa ser configurado de acordo com o tipo de arquitetura que será utilizado a partir do início das atividades do sistema.

O aproveitamento das características previamente existentes em sistemas operacionais de tempo real também nunca foi encontrado na literatura. Tal espécie de sistema operacional pode oferecer vantagens para a criação de um serviço de sincronização de relógios. Pela falta de tal iniciativa, não existem resultados sobre a exploração de tais.

O surgimento do Global Positioning System (GPS) [DAN97] deu novo impulso à área de sincronização de relógios. Isso se deve ao seu uso como fonte de disseminação de tempo oficial acessível praticamente em qualquer ponto da superfície terrestre que possa “avistar” os satélites do sistema. Tal fato é importante para quando a sincronização relativa a uma fonte de tempo UTC (Universal Time Coordinated) [DAN97] é necessária. O barateamento dos modelos mais simples de receptores GPS (inclusive alguns dedicados à recepção de tempo) permite atualmente que um serviço de sincronização de relógios tenha acesso a uma fonte de tempo oficial.

Por fim, existe o crescimento da necessidade de sistemas que supervisionem ambientes onde as tarefas precisam atender restrições temporais. Isso causa uma utilização maior de sistemas de tempo real, os quais, por sua vez, muitas vezes se baseiam em sistemas operacionais com características adequadas a tais restrições temporais. Neste quadro, o sistema operacional QNX se insere. Contudo, alguns serviços faltam a este sistema operacional e, entre eles, se encontra a falta de um serviço de sincronização de relógios.

2. O Sistema de Posicionamento Global

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) [DAN97] é um sistema de navegação baseado em satélites orbitais que fornece, 24 horas por dia, posição tridimensional e tempo

precisos. GPS permanece sendo operado pela Força Aérea dos Estados Unidos sob orientação do Departamento de Defesa.

Os 10 primeiros satélites que compõem o sistema GPS foram lançados em 1989 e foram denominados Bloco I. Já em 1990, 43 laboratórios estavam utilizando GPS para sincronizar seus relógios atômicos. Em 1994, 24 satélites constituintes dos blocos II e IIA foram lançados. Estes 24 satélites formam a capacidade total do sistema GPS atualmente.

O Plano de Radionavegação Federal define dois tipos de serviços fornecidos pelo sistema:

- Standard Positioning Service: cujas acuidades de posicionamento e temporização são de 95%; isto significa que a acuidade do relógio recebido se encontra dentro de 340 nanosegundos; é de livre acesso a qualquer usuário;

- Precise Positioning Service: é limitado a usuários especificadamente autorizados pelos Estados Unidos; a acuidade do relógio se encontra dentro dos 200 nanosegundos.

O sistema GPS constitui-se de três segmentos:

- Segmento de Controle

Consiste das seguintes Estações Monitoras (figura 1): Ascension Island - Colônia Britânica no Oceano Atlântico Sul, Colorado Springs, Colorado [Master Control], Diego Garcia - base militar dos Estados Unidos no Oceano Índico, Hawaii e Atol de Kwajalein - República das Ilhas Marshall.

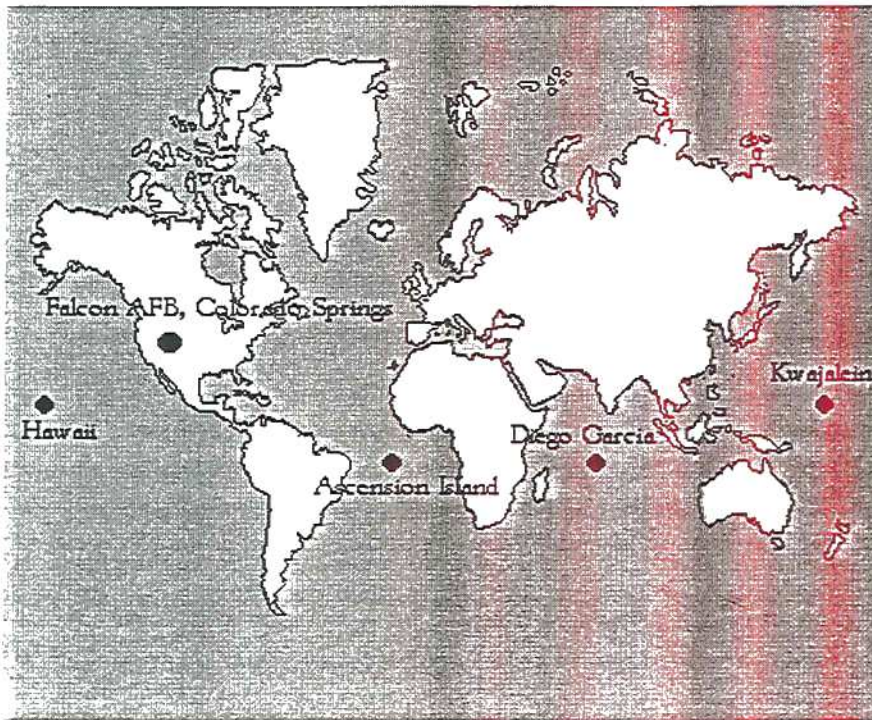


Figura 1: Estações Monitoras da constelação GPS

Estas estações rastream os satélites GPS que passam sobre elas duas vezes ao dia. Tais estações repassam a posição do satélite e a sua medida de tempo para o Controle Mestre existente na base da Força Aérea, no Colorado. Neste local os dados de todos os satélites são computados, ajustados e devolvidos para que as estações realimentem os satélites.

- Segmento de Espaço

É a constelação de 24 satélites que orbitam a 20.200 Km de altitude, dos quais 3 são reservas ativos. Estes satélites estão dispostos em seis planos orbitais, inclinados num angulo de 55 graus de diferença uns dos outros, ocasionando uma cobertura tal que em qualquer parte do mundo pode-se visualizar no mínimo 5 satélites.

Cada satélite transmite sinais de navegação em duas frequências de microondas, as quais são moduladas em fase para a conter a Mensagem de Navegação, a qual consiste de dados orbitais, deslocamento do relógio do satélite e outros dados.

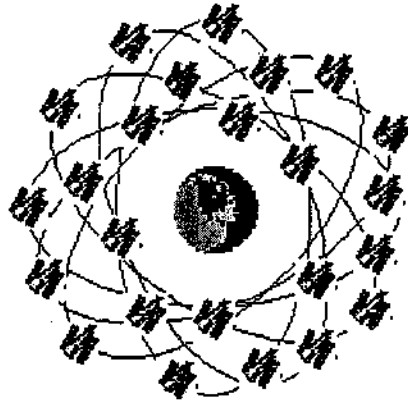


Figura 2: 24 satélites formadores da constelação GPS em seus 6 planos orbitais

- **Segmento do Usuário**

Consiste dos receptores do sinal GPS, militares e civis.

2.1. Controle do Tempo GPS

O controle do tempo é orientado pelo Controle Mestre para estar dentro de 1 microsegundo dentro do tempo UTC. O tempo GPS é derivado a partir do Relógio Composto GPS (Composite Clock - CC), o qual consiste de um relógio atômico em cada Estação Monitora e todos os padrões de frequência dos satélites. Cada um dos satélites do Bloco II contém dois relógios de césio e dois relógios de rubídio.

O Observatório Naval dos Estados Unidos (USNO) monitora os sinais dos satélites diariamente, recolhendo os dados de temporização em 130 blocos de seis segundos. Estes 780 segundos formam uma Mensagem de Navegação completa (12,5 minutos), contendo a correção do relógio do satélite em relação ao UTC, ou seja, a diferença entre os dois tempos.

Os dados de temporização do GPS são comparados ao Master Clock do USNO, o qual é um conjunto de 60 relógios de césio e sete relógios de hidrogênio. Após comparados, os conjuntos de dados dos satélites são usados para ajustar os relógios do CC em uma taxa de 10^{-18} segundos por segundo ao quadrado.

O sinal GPS de um satélite é transmitido sob controle dos relógios atômicos daquele satélite. O satélite é monitorado e a diferença entre o tempo do Master Clock e o tempo do satélite é carregado para o veículo espacial. A seguir, o satélite envia para o receptor do usuário o fator de correção do seu relógio em relação ao tempo real.

Os sinais GPS estão sujeitos a diversas fontes de erros. Dentre estas, a mais destacada é o atraso ionosférico, o qual é o atraso da portadora dos sinais quando eles atravessam a camada de íons e elétrons livres conhecida como ionosfera. Variando em densidade e espessura (50 a 500 quilômetros) devido à pressão solar e efeitos geomagnéticos, a ionosfera pode causar atrasos de até 300 nanosegundos. Também a posição do satélite pode modificar o atraso do sinal, visto que quanto mais próximo o satélite estiver da linha do horizonte, mais

ionosfera o sinal terá de atravessar. Os satélites recebem informações sobre a ionosfera, a qual é transmitida para os receptores dos usuários.

Em oposição às antenas receptoras de sinal terrestre, uma antena GPS requer sempre contato "visual" com o satélite, ou seja, não podem existir obstáculos entre o mesmo e a antena [LIC97]. Ao receberem o sinal GPS, tais antenas estimam o atraso da transmissão. Tal atraso é corrigido ao adicionar-se o atraso da propagação pela antena o atraso interno ao receptor, as estimativas dos atrasos ionosférico e troposférico e outros efeitos relativísticos [DAN97].

2.2. Receptores de tempo GPS

Receptores de tempo GPS são projetados para o controle ou medição de tempo e intervalos de tempo. Esses receptores geralmente processam os sinais GPS usando técnicas especiais que assumem uma posição fixa e conhecida.

A acuidade de medidas de tempo simples (sem realizar seleção sobre os sinais disponíveis) varia entre 10 a 1.000 nanosegundos. Com um pós-processamento, a acuidade varia de 1 a 300 nanosegundos.

3. Objetivos e Estado Atual

O presente trabalho visa o projeto de um serviço de sincronização de relógios para o sistema operacional QNX. Tal serviço procurará sincronizar os relógios das máquinas do sistema distribuído em relação ao tempo fornecido por um receptor de tempo GPS. Os protocolos a ser escolhidos terão de ter a capacidade de degradar para um estado de sincronização interna quando não for possível a obtenção do tempo a partir do receptor.

Deverão ser escolhidos e implementados dois protocolos de sincronização, sendo um determinístico e outro probabilístico. Como a rede de comunicação utilizada será Ethernet, o protocolo determinístico precisará de um anel lógico com passagem de *token* para o atraso máximo de viagem de uma mensagem seja conhecido. Esta medida trará, muito provavelmente, a perda de alguns serviços existentes no QNX, visto que todas as aplicações deverão utilizar o anel lógico e as que não usarem-no não poderão permanecer ativas. A possibilidade de que o sistema operacional continue funcionando sem tais serviços deverá ser analisada. A substituição de tais serviços por outros que utilizem o anel lógico também terá sua viabilidade estudada.

Durante a inicialização, o servidor de sincronização poderá receber como parâmetros o tipo de sincronização desejada, assim como o período máximo de permanência do *token* com cada participante do sistema. A partir disto, os sistemas cujas atividades forem baseadas no tempo poderão dispor do serviço.

A validação da proposta, especialmente no que diz respeito à acuidade [JAL94] (diferença de um relógio qualquer ao tempo oficial) obtida por cada um dos protocolos de sincronização, dependerá da análise das características do sistema operacional e da arquitetura de rede (com e sem anel). Isso se deve ao fato de que a medição dos resultados é um problema equivalente ao que se está tentando solucionar com o serviço de sincronização. Algumas aplicações podem vir a serem usadas também para verificar a utilidade do servidor.

Espera-se, ao final, construir um serviço de sincronização composto de software servidor e receptor GPS (incluindo antena e cabos) que possa ser utilizado em qualquer sistema distribuído com sistema operacional QNX instalado, utilizando rede Ethernet para comunicação de dados. A possibilidade de não aquisição do receptor GPS, caso concretizada, não acarretará na inviabilidade do trabalho, visto que o mesmo pode ser simulado.

4. Conclusões

A disponibilidade e acuidade do tempo fornecido pela constelação GPS, juntamente com o aprimoramento e a popularização dos receptores dos seus sinais, indicam esta forma de difusão de tempo oficial como a mais indicada para o uso em diversos tipos de aplicações. O uso do sistema operacional QNX sobre uma rede Ethernet, contudo, pode dificultar ou mesmo inviabilizar a construção de um protocolo de sincronização determinística. Caso o segundo caso venha a ocorrer, o sistema QNX/Ethernet não poderá manter um serviço de sincronização para as necessidades de aplicações críticas.

O serviço, ao ser usado com o protocolo determinístico e em redes locais distintas, procurará se adequar ao modelo CesiumSpray [VER97]. Neste modelo, redes locais acabam por se encontrar sincronizadas entre si, mesmo sem contato entre elas. Portanto, a sincronização se dará não somente dentro de LANs separadas, mas em WANs que dispõem do serviço.

No futuro, o serviço poderá ser melhorado e ampliado (talvez técnicas de sincronização de relógios que se utilizem de novos paradigmas) ou usado em projetos de desenvolvimento de sistemas de tempo real e construção de outros serviços tolerantes a falhas.

5. Bibliografia

- [AGN97] AGNOLETTO, Alessandro Dario. Sincronização de Relógios em Sistemas Distribuídos. Trabalho Individual, CPGCC - UFRGS, 1997.
- [BIR96] BIRMAN, Kenneth P. Building Secure and Reliable Network Applications. Manning Publications, U.S.A., 1996.
- [CRI89] CRISTIAN, Flaviu. Probabilistic Clock Synchronization. Distributed Computing, No. 3, Springer-Verlag, U.S.A., 1989.
- [DAN97] DANA, Peter H. Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications. Real-Time Systems, N. 12, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1997.
- [JAL94] JALOTE, Pankaj. Fault Tolerance in Distribute Systems. Prentice Hall, U.S.A., 1994.
- [LAM85] LAMPORT, Leslie, e SMITH, P. M. Melliar-. Synchronizing Clocks in the Presence of Faults. Journal of the ACM, Vol. 32, No. 1, U.S.A., 1985.
- [QNX93] QNX Software Systems. QNX: System Architecture. Ontario, QNX Software Systems, 1993.
- [TAN96] TANENBAUM, Andrew S. Computer Networks. Prentice Hall, U.S.A., 1996.
- [VER97] VERISSIMO, P., RODRIGUES, L. e CASIMIRO A. CesiumSpray: a Precise and Accurate Global Time Service for Large-scale Systems. Real-Time Systems, N. 12, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1997.