

INF01151 – SISTEMAS OPERACIONAIS II N – Turma B
PROF. WEVERTON CORDEIRO
SEMESTRE 2023/2
TRABALHO PRÁTICO PARTE 1: THREADS, SINCRONIZAÇÃO E COMUNICAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO DO TRABALHO

A proposta de trabalho prático é implementar um serviço de envio de notificações estilo “feed de notícias”, muito similar ao Twitter. Os usuários farão uso do serviço por meio de perfis, postando notificações em nome de um determinado perfil, e que serão recebidas por todos os seguidores desse perfil. Observe que a ideia de perfis, no contexto desta proposta de trabalho prático, é similar aos perfis em redes sociais como o Twitter (por ex., @ufrgs).

A proposta deverá ser desenvolvida em duas etapas. A primeira etapa compreenderá funcionalidades que dependerão de tópicos como *threads*, processos, comunicação e sincronização para serem implementadas. A aplicação deverá executar em ambientes Unix (Linux), mesmo que tenha sido desenvolvida em outras plataformas. O projeto deverá ser implementado em C/C++, usando a API User Datagram Protocol (UDP) sockets do Unix.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO E FUNCIONALIDADES BÁSICAS

O projeto compreenderá um app para usuários (cliente) e um servidor. O cliente permitirá ao usuário fazer uso do serviço de notificações. Quando o usuário iniciar um processo cliente, o cliente estabelecerá uma conexão com o servidor e iniciará uma “sessão de uso” atrelada ao “perfil” do usuário. Um perfil é uma cadeia de 4 a 20 caracteres que permite identificar um usuário no serviço (por exemplo, @estudante). O nome de perfil deverá ser informado pelo usuário, via linha de comando, ao iniciar o cliente. A comunicação entre o cliente e servidor (e, consequentemente, a sessão) deverá ser mantida estabelecida para o usuário fazer uso do serviço, conforme descrito a seguir.

Durante uma sessão de uso o usuário poderá, a qualquer momento, 1) registrar-se para receber notificações de outro perfil (isto é, “seguir” um perfil) e 2) enviar notificações (em outras palavras, postar um “tweet”). As notificações são mensagens de texto curtas. Cada notificação enviada estará atrelada ao perfil usado na sessão, ou seja, será de autoria do perfil passado como parâmetro ao processo cliente. As notificações deverão ser enviadas a todos os seguidores daquele perfil. O usuário receberá apenas aquelas notificações enviadas por um determinado perfil a partir do instante que passar a segui-lo. O servidor não deverá enviar a um cliente as notificações postadas antes de passar a seguir o referido perfil. A Figura 1 ilustra um exemplo da dinâmica do funcionamento do serviço.

Um usuário poderá usar o mesmo nome de perfil em, no máximo, duas sessões de uso (logo, em dois processos cliente distintos) simultaneamente, conforme exemplificado na Figura 2. O servidor deverá recusar novas tentativas de iniciar uma sessão com um mesmo perfil quando houver duas sessões ativas para esse mesmo perfil. O usuário poderá encerrar a qualquer momento um processo cliente e, portanto, a sessão mantida pelo processo. O encerramento do processo não deverá afetar a outra sessão de uso do mesmo perfil, caso existente. Ao iniciar novamente o app cliente informando um perfil existente, o servidor deverá enviar ao usuário todas as notificações enviadas, pelos perfis que este usuário segue, no período em que esteve *offline*. No entanto, caso esse perfil tenha

outra sessão de uso que permaneceu ativa, ao se iniciar o novo processo, as notificações enviadas no período e recebidas pela sessão de uso ativa não deverão ser reenviadas ao novo processo¹.

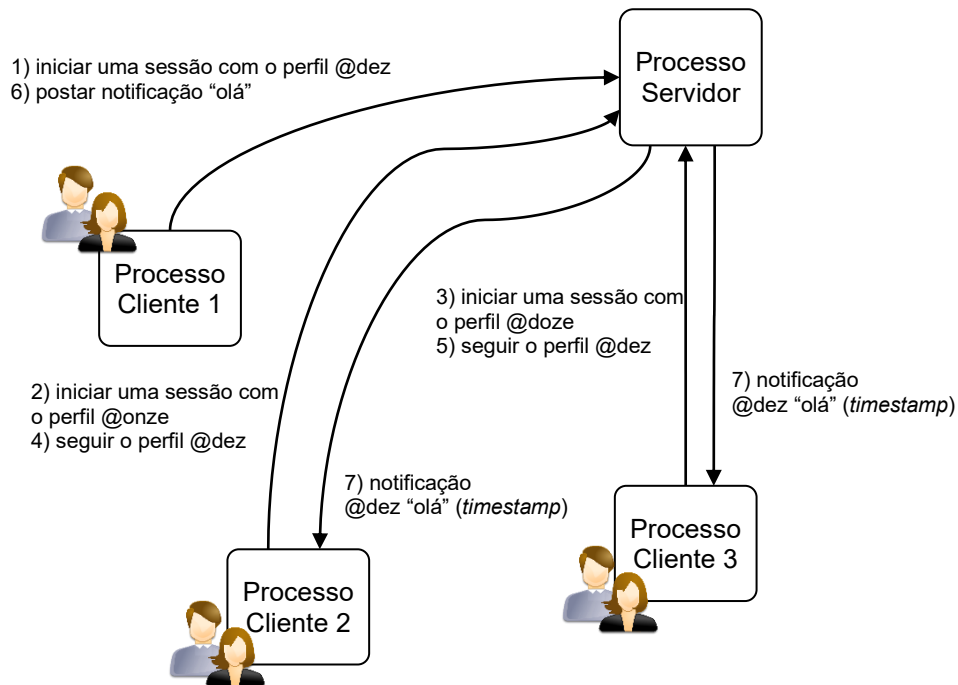


Figura 1. Exemplo da dinâmica do uso do serviço de notificações, considerando três usuários, cada um executando seu próprio processo cliente. Os números indicam a ordem em que os eventos ocorrem.

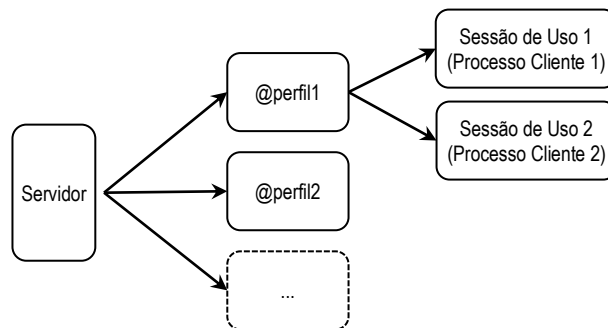


Figura 2. Relação entre o servidor, perfis de usuário e sessões de uso. Observe que um mesmo perfil pode ser usado em no máximo duas sessões de uso, cada uma mantida por um processo cliente distinto, independente se executam em uma mesma máquina ou em máquinas diferentes.

O serviço deve fornecer suporte às seguintes funcionalidades básicas:

- **Múltiplas sessões de uso:** O servidor deve lidar com vários acessos simultâneos ao serviço, ou seja, deve atender a várias sessões de diversos usuários ao mesmo tempo.
- **Múltiplas sessões de uso de um mesmo perfil:** Um perfil pode ser utilizado em no máximo **duas** sessões de uso. Caso um usuário tentar iniciar uma terceira sessão com um mesmo perfil, o servidor deverá recusar essa nova sessão.

¹ Isso é, ao iniciar um novo processo cliente usando um mesmo perfil, o mesmo conjunto de notificações enviados pelos perfis que este cliente segue deverá ser exibido em ambos os clientes, na mesma ordem. No entanto, as notificações que foram enviadas ao processo em execução, antes da inicialização do novo processo cliente, não deverão ser reenviadas ao novo processo cliente.

- **Consistência nas estruturas de armazenamento e troca de mensagens:** As estruturas de armazenamento de dados no servidor devem ser mantidas em um estado consistente. As notificações enviadas por um perfil devem ser distribuídas a todos os seguidores. O servidor deverá enviar aos processos cliente dos respectivos seguidores as mensagens na mesma ordem que forem recebidas pelo servidor.
- **Persistência de dados no servidor:** Os perfis dos usuários e a relação de seguidores de cada perfil devem ser restabelecidos caso o servidor seja reinicializado. No entanto, as mensagens pendentes de envio não devem ser reestabelecidas no caso de falha no servidor (isso será abordado na segunda parte do trabalho). Importante: a persistência não poderá ser feita com apoio de sistema de banco de dados, devendo ser feita em arquivo, usando as primitivas de sistema para manipulação de arquivos.

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

A proposta de trabalho prático está dividida em duas etapas, sendo que a segunda etapa irá contemplar funcionalidades adicionais. Portanto, considere uma implementação modular e com possibilidade de extensão, e o encapsulamento das funções de comunicação do cliente e do servidor em módulos isolados.

Para o funcionamento do serviço, o servidor deverá manter em uma estrutura de dados a lista de perfis existentes, incluindo os respectivos seguidores do perfil, a lista de notificações enviadas em nome daquele perfil, e a fila de notificações pendentes de entrega por perfil. Ao receber uma nova conexão de um cliente, caso o perfil informado pelo cliente ainda não tenha sido usado (e, portanto, não conste na relação de perfis), o servidor deverá criar o perfil e incluir na lista. A Tabela 1 ilustra as informações mantidas nessa estrutura para o exemplo da Figura 1.

Tabela 1. Exemplo de estrutura de dados mantida pelo servidor, conforme exemplo da Figura 1.

Lista de perfis	Lista de seguidores	Lista de notificações recebidas pelo servidor	Fila de notificações pendentes de envio aos clientes
@dez	@onze, @doze	1, 1613618078, "olá", 3, 2	
@onze			<@dez 1>
@doze			<@dez 1>

Cada notificação terá um conjunto de metadados: o identificador da notificação, o perfil autor da notificação, o instante (*timestamp*) em que a notificação foi recebida pelo servidor, a quantidade de caracteres da notificação e o número de seguidores que ainda não receberam a mensagem. No exemplo acima, esses valores são, respectivamente, 1, @dez, 1613618078, 3 e 2. O sistema poderá manter outros metadados para cada notificação, a critério da equipe. Como sugestão, o identificador de notificação pode ser um número inteiro único global, para facilitar o controle de envio de notificações aos seguidores. Em relação à fila de notificações pendentes, ela indicará quais notificações o(s) processo(s) cliente de um determinado perfil ainda precisa(m) receber.

A Figura 3 apresenta uma sugestão de como a equipe pode organizar as funcionalidades do sistema em módulos e implementá-las. Os **módulos de comunicação** são responsáveis por operações de troca de dados entre o processo servidor e os processos cliente. Os **módulos de gerenciamento de notificações** são responsáveis por gerenciar o envio das notificações para destinatários, incluindo os metadados de cada notificação. Por fim, o **módulo de gerência de perfis e de sessões** é responsável pela manutenção dos perfis existentes e seus respectivos seguidores.

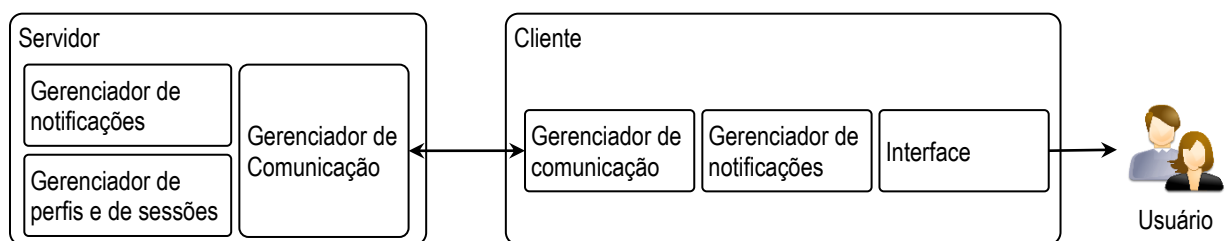


Figura 3. Sugestão de organização dos módulos do sistema.

O processo servidor deverá implementar um esquema baseado no modelo produtor/consumidor para gerenciar o recebimento e entrega de mensagens de e para clientes. Em particular, o servidor manterá múltiplas instâncias de

produtores/consumidores entre cada perfil e seus seguidores. Quando o servidor receber uma notificação enviada por um perfil, essa notificação funcionará como uma “produção”. Considerando o exemplo da Tabela 1, a “produção” de uma notificação envolverá (1) receber a notificação do processo cliente, (2) escrever a notificação na lista de notificações pendentes de envio e (3) para cada seguidor, atualizar a fila de notificações pendentes de recebimento. De forma análoga, o “consumo” de uma notificação envolverá (1) recuperar (e remover) um identificador de notificação da fila de pendentes, (2) enviar a respectiva notificação ao processo cliente e (3) decrementar o valor de envios pendentes no metadado da notificação. Esses passos deverão ser implementados no servidor e repetidos enquanto houver notificações na fila.

Observe que a escrita de notificações será uma operação não bloqueante, enquanto a leitura de notificações será uma operação bloqueante. A thread do servidor que “consome” notificações, enviando-as para o cliente de um perfil, ficará bloqueada enquanto não houver novas notificações. Observe ainda que uma notificação será removida da lista de notificações somente após todos os seguidores que devem recebê-la consumirem a mesma. Ao alcançar o valor 0 (zero), a notificação deverá ser excluída da estrutura de dados mantida pelo servidor.

INTERFACE DO USUÁRIO

Um cliente deve poder estabelecer uma sessão de uso com o servidor via linha de comando utilizando:

```
$ ./app_cliente <perfil> <endereço do servidor> <porta>
```

onde <perfil> representa o identificador do perfil, <endereço do servidor> e <porta> representam o endereço IP do servidor e a porta, respectivamente.

Após iniciar uma sessão, o usuário poderá indicar quais perfis ele deseja seguir e receber notificações. Para tal, o usuário deverá emitir o seguinte comando para receber todas as notificações enviadas por @username:

```
FOLLOW @username
```

Apenas as notificações enviadas pelo perfil após o comando FOLLOW deverão ser recebidas pelo novo seguidor. Um perfil não poderá executar o comando FOLLOW para seguir a si mesmo.

O app poderá enviar notificações, através do comando:

```
SEND message to send
```

Onde *message to send* é uma notificação de até 128 caracteres (similar a um tweet) que deverá ser enviado para o servidor, e por sua vez repassado a todos os seguidores.

A interface do cliente deve ter uma *thread* para escrever as mensagens na tela, e outra thread para ler as notificações e comandos digitados pelo usuário. Ao apertar CTRL+C (interrupção) ou CTRL+D (fim de arquivo), o processo cliente deverá encerrar, sinalizando ao servidor que o usuário está desconectando do serviço.

FORMATO DE ESTRUTURAS

A equipe tem liberdade para definir o tamanho e formato das mensagens que serão usadas para troca de dados entre o app do cliente e o servidor. Sugere-se a especificação de uma estrutura para definir as mensagens trocadas entre cliente/servidor. Abaixo é apresentada uma sugestão de como implementar a estrutura para a troca de comandos e mensagens entre os processos cliente e servidor.

```
typedef struct __packet{
    uint16_t type;    //Tipo do pacote (p.ex. DATA | CMD)
    uint16_t seqn;    //Número de sequência
    uint16_t length;  //Comprimento do payload
    uint16_t timestamp; // Timestamp do dado
    const char* _payload; //Dados da mensagem
} packet;
```

Abaixo segue uma sugestão para implementar os metadados de uma notificação. Observe que cada perfil terá sua própria lista de notificações criadas, portanto o nome do perfil não necessariamente precisa fazer parte da estrutura abaixo.

```
typedef struct __notification{
    uint32_t id;    //Identificador da notificação (sugere-se um identificador único)
    uint32_t timestamp; //Timestamp da notificação
    uint16_t length; //Tamanho da mensagem
    uint16_t pending; //Quantidade de leitores pendentes
    const char* _string; //Mensagem
} notification;
```

DESCRIÇÃO DO RELATÓRIO

A equipe deverá produzir um relatório fornecendo os seguintes dados:

- Descrição do ambiente de testes: versão do sistema operacional e distribuição, configuração da máquina (processador(es) e memória) e compiladores utilizados (versões).
- Explicação e respectivas justificativas a respeito de:
 - (A) Como foi implementada a concorrência no servidor para atender múltiplos clientes;
 - (B) Em quais áreas do código foi necessário garantir sincronização no acesso a dados;
 - (C) Descrição das principais estruturas e funções que a equipe implementou;
 - (D) Explicar o uso das diferentes primitivas de comunicação;
- Descrição dos problemas que a equipe encontrou durante a implementação e como estes foram resolvidos (ou não).

A **nota será atribuída baseando-se nos seguintes critérios**: (1) qualidade do relatório produzido conforme os itens acima, (2) correta implementação das funcionalidades requisitadas e (3) qualidade do programa em si (incluindo uma interface limpa e amigável, documentação do código, funcionalidades adicionais implementadas, etc).

DATAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

O trabalho deve ser feito em grupos de **QUATRO INTEGRANTES**. As pessoas participantes da equipe devem estar claramente identificadas no relatório e na apresentação. A avaliação do trabalho será pela análise da implementação, do relatório produzido e da apresentação.

A apresentação dos trabalhos será realizada presencialmente, conforme agenda a ser divulgada.

Faz parte do pacote de entrega os códigos-fonte da implementação, um tutorial de como compilar e executar os códigos e o relatório em um arquivo ZIP. A implementação deve estar funcional para a avaliação. A compilação deverá ser feita via scripts automatizados (por ex., Makefile), de modo a facilitar o processo de avaliação do projeto submetido.