

Sincronizando o horário por meio de NTP/NTS

O QUE É?

Este artigo descreve o que é a sincronização de horário e como configurá-la.

POR QUÊ?

Manter o horário do sistema sincronizado é crucial ao compartilhar tarefas e recursos pela rede com outros membros da equipe.

DEDICAÇÃO

A leitura deste artigo e a configuração básica da sincronização de horário no computador levam até 60 minutos.

REQUISITOS

- É necessário ter conhecimento básico da administração do sistema Linux. Tarefas específicas exigem privilégios de root.
- Conexão ativa com a rede interna ou com a Internet para acessar o servidor de horário de origem.

Data de Publicação: 11/12/2025

Conteúdo

- 1 Introdução 3

- 2 Configurando o NTP ajustando `/etc/chrony.conf` 5
- 3 Gerenciando `chronyd` em runtime 9
- 4 Configurando o NTS 10
- 5 Serviço `chronydsystemd` 13
- 6 Solução de problemas 13
- 7 Para obter mais informações 15
- 8 Informações legais 15
- A GNU Free Documentation License 16

1 Introdução

Manter o horário do sistema preciso e sincronizado no computador é fundamental para o trabalho em equipe. Os aplicativos de planejamento e de calendário contam com isso para controlar o horário corretamente e notificar os usuários em tempo sobre os compromissos. Para aplicativos em cluster, as máquinas host individuais geralmente exigem o horário do sistema sincronizado para comunicação mútua.

O relógio incorporado do hardware não é uma fonte de horário confiável. Uma correção manual do horário do sistema pode causar mau funcionamento de aplicativos críticos devido a intervalos repentinos de horário. Portanto, o horário do sistema precisa ser sincronizado por rede com uma fonte de horário externa confiável.

1.1 O que é NTP?

O NTP (Network Time Protocol) foi projetado para sincronizar o horário do sistema por rede. O objetivo é manter o horário absoluto e usá-lo para sincronizar o horário do sistema de todas as máquinas em uma rede.

1.2 O que é NTS?

O NTS (Network Time Security) é uma extensão de segurança do NTP. Ele fornece mecanismos para autenticar e criptografar mensagens NTP, garantindo que os dados de horário recebidos sejam seguros e autênticos. O NTS foi projetado para compatibilidade retroativa com a infraestrutura NTP existente. Isso permite a implantação gradual sem exigir mudanças nos servidores NTP existentes que não suportam NTS.

1.3 Como funciona o protocolo NTP?

Quando o serviço NTP está devidamente configurado, ele consulta e ajusta o horário do sistema com os servidores de horário confiáveis de maneira contínua. Normalmente, os computadores domésticos e outros dispositivos conectados à Internet são configurados para consultar um servidor de horário público na Internet.

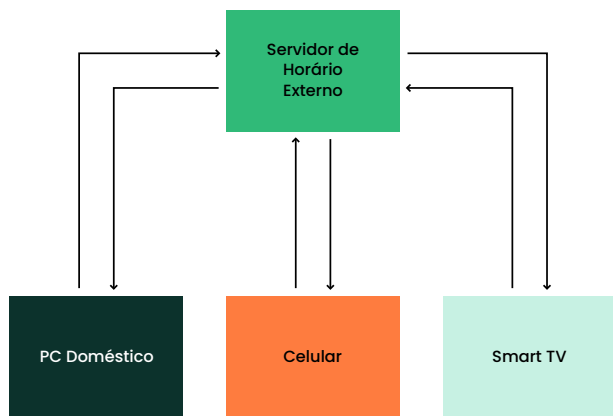


FIGURA 1: DISPOSITIVOS INDIVIDUAIS QUE CONSULTAM UM SERVIDOR DE HORÁRIO PÚBLICO

Por outro lado, os computadores desktop e os servidores que residem em uma sub-rede corporativa são configurados para consultar um servidor de horário dedicado na rede local. O próprio servidor de horário sincroniza seu horário com um servidor de horário público.

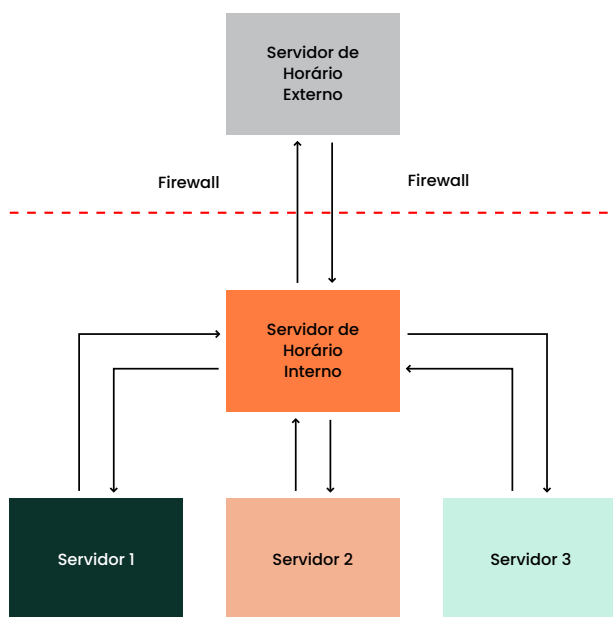


FIGURA 2: VÁRIOS HOSTS QUE CONSULTAM UM SERVIDOR DE HORÁRIO INTERNO

1.3.1 Implementação

O chrony é a implementação padrão do NTP no SUSE Linux Enterprise Server. O chrony inclui duas partes:

- O chronyd é um serviço systemd que pode ser iniciado no momento da inicialização.
- O chronyc é um programa de interface de linha de comando que monitora o desempenho do chronyd e muda os parâmetros operacionais específicos em runtime.

1.4 Benefícios

O uso do NTP para manter o horário preciso tem os seguintes benefícios:

- As pessoas podem confiar em seus relógios ao seguir uma programação planejada.
- Os aplicativos podem acionar ações programadas da área de trabalho ou do sistema com precisão.
- Os nós do cluster podem manter seus dados sincronizados e atualizados.
- O uso de um servidor de horário interno ajuda a manter o horário do sistema sincronizado em redes com acesso restrito à Internet.
- Com a integração de medidas de segurança ao NTP por meio do NTS, o protocolo se torna mais resistente e resolve as vulnerabilidades associadas à sincronização de horário não segura.

2 Configurando o NTP ajustando `/etc/chrony.conf`

Quando o chronyd é iniciado, ele lê sua configuração no arquivo `/etc/chrony.conf`. As seções a seguir listam parâmetros importantes que podem afetar o comportamento do chronyd.

2.1 Especificando fontes de horário

Para manter o relógio do computador sincronizado, você precisa informar ao chronyd quais fontes de horário devem ser usadas. Para essa finalidade, use as diretivas server, pool e peer. Você pode usar cada uma delas várias vezes.

A diretiva `server` instrui o `chronyd` a usar um host específico como servidor de horário por nome ou endereço IP.

```
server 0.europe.pool.ntp.org offline ❶  
server 1.europe.pool.ntp.org offline prefer ❷  
server 192.168.2.254
```

- ❶ A opção `offline` impede que o `chronyd` consulte o servidor de horário. Essa opção será útil se o servidor não estiver acessível quando o `chronyd` for iniciado. Você precisa colocar o servidor de horário online quando ele estiver acessível usando o `chronyc`. Consulte a [Seção 3, “Gerenciando `chronyd` em runtime”](#) para obter mais detalhes.
- ❷ A opção `prefer` instrui o `chronyd` a preferir a fonte de horário em relação a outras que não incluem essa opção.

A diretiva `pool` permite especificar um nome de rede que seja resolvido para vários endereços IP que podem mudar ao longo do tempo.

```
pool pool.ntp.org iburst ❶ maxsources 3 ❷
```

- ❶ A opção `iburst` significa que o `chronyd` começa com um burst de 4 a 8 solicitações para fazer a primeira atualização do relógio mais cedo.
- ❷ A opção `maxsources` instrui o `chronyd` a usar até três fontes do pool.

A diretiva `peer` especifica um host de peer NTP em vez de um servidor de horário. A sincronização de horário do sistema entre `peers` usa uma arquitetura simétrica em vez do modo cliente/servidor chamado pelas opções `server` e `pool`. Você pode usar `peer` várias vezes para especificar mais de um peer.

```
peer 192.168.1.116  
peer ntp.example.com
```

2.2 Executando `chronyd` como servidor NTP

Por padrão, o `chronyd` funciona como um cliente para servidores NTP especificados. Para fazê-lo operar também como um servidor NTP, adicione a diretiva `allow` ao arquivo `/etc/chrony.conf`. Ele abre a porta do servidor NTP (123 por padrão) e responde às solicitações do cliente.

Você pode especificar um único IP de um cliente NTP ou uma sub-rede para incluir vários clientes. Você pode usar a diretiva `allow` várias vezes:

```
allow 1.2.3.4
allow 3.4.5.0/24
```



Dica

Se você não especificar um endereço IP ou uma sub-rede, a diretiva `allow` independente permitirá o acesso de todos os endereços IPv4 e IPv6.

Para limitar o acesso da diretiva `allow` anterior, use a diretiva `deny`:

```
allow 1.2.3.4
deny 1.2.3.0/24
allow 1.2.0.0/16
```

No exemplo acima, o efeito é o mesmo, seja qual for a ordem das três diretivas. A sub-rede `1.2.0.0/16` tem o acesso permitido, exceto para a sub-rede `1.2.3.0/24`, que tem o acesso negado. No entanto, o acesso é permitido ao host `1.2.3.4`.

2.3 Configurando um relógio de referência local

O `chronyd` depende de outros programas (como `gpsd`) para acessar os dados de horário por meio de um driver específico. Use a diretiva `refclock` em `/etc/chrony.conf` para especificar um relógio de referência de hardware a ser usado como fonte de horário. Ela tem dois parâmetros obrigatórios: um nome de driver e um parâmetro específico do driver. Os dois parâmetros são seguidos de zero ou mais opções `refclock`. O `chronyd` inclui os seguintes drivers:

PPS

Driver para a API *Pulse-Per-Second* do kernel. Por exemplo:

```
refclock PPS /dev/pps0 lock NMEA refid GPS
```

SHM

Driver de memória compartilhada do NTP. Por exemplo:

```
refclock SHM 0 poll 3 refid GPS1
refclock SHM 1:perm=0644 refid GPS2
```

SOCK

Driver de soquete de domínio do Unix. Por exemplo:

```
refclock SOCK /var/run/chrony.ttyS0.sock
```

PHC

Driver de relógio do hardware PTP. Por exemplo:

```
refclock PHC /dev/ptp0 poll 0 dpoll -2 offset -37  
refclock PHC /dev/ptp1:nocrossts poll 3 pps
```



Dica

Para obter mais informações sobre as opções de drivers individuais, consulte [man 8 chrony.conf](#).

2.4 Ativando fontes de horário offline

O `chronyd` é inicializado normalmente em um sistema que inicializa sem uma conexão de rede, mas ele não pode acessar os servidores de horário especificados em `/etc/chrony.conf`. Para evitar que o `chronyd` tente consultar servidores de horário inacessíveis, use a opção `offline` ao lado da diretiva de fonte de horário, por exemplo:

```
server ntp.example.org offline
```

O `chronyd` não tentará fazer `poll` no servidor até ser habilitado usando o seguinte comando:

```
# chronyc online ntp.example.org
```



Dica

Quando a opção `auto_offline` está definida em vez da opção `offline`, o `chronyd` pressupõe que o servidor de horário estava offline quando duas solicitações foram enviadas a ele sem receber uma resposta. Essa opção evita a necessidade de executar o comando `offline` do `chronyc` ao desconectar o link de rede.

3 Gerenciando chronyd em runtime

3.1 O que é o comando **chronyc**?

O **chronyc** é a parte cliente da implementação **chrony** do NTP. Você pode usar o comando **chronyc** para mudar o comportamento do serviço **chronyd** em runtime. Ele também gera relatórios de status sobre a operação do **chronyd**.



Nota: Mudanças temporárias

As mudanças feitas com o **chronyc** não são permanentes. Elas serão perdidas após a próxima reinicialização do **chronyd**. Para mudanças permanentes, modifique `/etc/chrony.conf` conforme descrito na [Seção 2, “Configurando o NTP ajustando /etc/chrony.conf”](#).

3.2 Como funciona o **chronyc**?

Você pode executar o **chronyc** no modo interativo ou não interativo. Para executar o **chronyc** interativamente, digite **chronyc** na linha de comando e pressione **Enter**. Esse procedimento exibe um prompt e aguarda a entrada do seu comando. Por exemplo, para verificar quantas fontes NTP estão online ou offline, execute o comando **activity**:

```
# chronyc
chronyc> activity
200 OK
4 sources online
2 sources offline
1 sources doing burst (return to online)
1 sources doing burst (return to offline)
0 sources with unknown address
```

Para sair do prompt do **chronyc**, digite **quit** ou **exit**.

Se você não precisa usar o prompt interativo, digite o comando diretamente, por exemplo:

```
# chronyc activity
```

4 Configurando o NTS

O protocolo NTP não introduz um mecanismo de segurança para tornar a comunicação entre o servidor de horário e o cliente autenticada e criptografada. O Network Time Security (NTS) é uma extensão que reforça a segurança do NTP. O `chrony` suporta o NTS e pode autenticar fontes de horário e proteger contra determinados ataques à rede.

Os procedimentos a seguir descrevem como configurar o servidor de horário e a máquina do cliente para sincronização segura de horário.

PROCEDIMENTO 1: CONFIGURANDO O SERVIDOR DE HORÁRIO NTS

1. *(Opcional)* É uma boa ideia configurar o servidor de horário para atualizar o horário pelo NTS. Isso garante uma sincronização de horário segura desde o início da cadeia de sincronização. Comente todas as fontes de horário existentes no arquivo `/etc/chrony.conf` que não suportam NTS e adicione pelo menos uma que suporte NTS, por exemplo:

```
server time.cloudflare.com iburst nts
```



Dica

A opção `nts` solicita a conexão por NTS se ela estiver disponível; do contrário, ela voltará para o NTP se o NTS não estiver disponível.

2. Reinicie o serviço `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

3. Verifique as fontes de horário configuradas.

```
> chronyc sources -v
MS Name/IP address          Stratum Poll Reach LastRx Last sample
=====
^? time.cloudflare.com      3    6    1    2   -947ms[ -947ms] +/-  12ms
^? pyrrha.fi.muni.cz       2    6    1    1   -948ms[ -948ms] +/-  39ms
^* whitesoft-intex16.c.cbsn> 1    6    1    2   -948ms[ -948ms] +/- 5444us
^? mail.combatostrich.dev   2    6    1    1   -948ms[ -948ms] +/-  28ms
```



Nota

A linha que começa com `^*` inclui a fonte de horário que foi selecionada como a melhor.

Verifique se a fonte de horário configurada usa o modo NTS.

```
> chronyc -N authdata
Name/IP address          Mode KeyID Type KLen Last Atmp  NAK Cook CLen
=====
[...]
time.cloudflare.com     NTS     1  15  256   3   0   0   8  96
```

4. Verifique se a configuração do servidor inclui a opção `allow`, que especifica quais clientes podem sincronizar o horário com o servidor de horário, por exemplo:

```
allow 192.168.1.0/24
```

5. (Opcional) Se o servidor de horário estiver protegido por um firewall, permita a comunicação nas portas tanto para NTP quanto para NTS. Por padrão, as portas são 123 e 4460.
6. Obtenha um certificado TLS e uma chave privada correspondente e copie-os para `/var/lib/chrony/`. Verifique se eles são legíveis para o `chrony`, por exemplo:

```
> sudo install -m 0440 -o chrony -g chrony nts.key /var/lib/chrony/
> sudo install -m 0440 -o chrony -g chrony nts.crt /var/lib/chrony/
```



Dica

Encontre informações detalhadas sobre certificados TLS em um [artigo específico](https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html) (<https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html>).

7. Edite o `/etc/chrony.conf` e verifique se a opção `ntsdumpdir /var/lib/chrony` está ativa. Em seguida, anexe os caminhos à chave e ao certificado TLS.

```
ntsdumpdir /var/lib/chrony
ntsserverkey /var/lib/chrony/nts.key
ntsservercert /var/lib/chrony/nts.crt
```

8. Reinicie o serviço `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

PROCEDIMENTO 2: CONFIGURANDO OS CLIENTES NTS

1. Desabilite as fontes de NTP existentes, por exemplo:

```
#server 192.168.1.1 iburst
```

As configurações dos códigos-fonte estão incluídas no `/etc/chrony.conf` ou nos arquivos em `/etc/chrony.d/`.

2. O host do cliente precisa confiar na CA raiz que assinou o certificado TLS. Encontre detalhes de como gerenciar o armazenamento de certificados de CA em um artigo específico (<https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html#tls-certificates-store>).⁷
3. Adicione a fonte do servidor de horário NTS que você configurou no *Procedimento 1, "Configurando o servidor de horário NTS"* à configuração do cliente `chrony` em `/etc/chrony.conf`, por exemplo:

```
server nts1.example.com iburst nts
```

4. Reinicie o serviço `chronyd`.

```
> sudo systemctl restart chronyd.service
```

5. Verifique as fontes de horário configuradas no cliente e confirme se a conexão foi autenticada.

```
> sudo chronyc sources -v  
> sudo chronyc -N authdata
```

6. No servidor de horário NTS, verifique as estatísticas por cliente sobre as conexões NTS.

```
> sudo chronyc -N clients -k
```

5 Serviço chronydsystemd

A parte principal do `chrony` é o serviço `chronyd systemd`, que é executado em segundo plano e sincroniza o horário do sistema com os servidores de horário selecionados. Você pode usar os seguintes comandos `systemd` para operar o serviço `chronyd`:

`systemctl status chronyd.service`

Imprime informações estendidas sobre o status atual do serviço `chronyd`.

`systemctl is-enabled chronyd.service`

Verifica se o início automático do serviço `chronyd` na inicialização do sistema está habilitado.

`systemctl enabled chronyd.service`

Habilita o início automático do serviço `chronyd` na inicialização do sistema.

`systemctl disable chronyd.service`

Desabilita o início automático do serviço `chronyd` na inicialização do sistema.

`systemctl is-active chronyd.service`

Verifica se o serviço `chronyd` foi iniciado e está em execução.

`systemctl start chronyd.service`

Inicia o serviço `chronyd`.

`systemctl stop chronyd.service`

Interrompe o serviço `chronyd`.

`systemctl restart chronyd.service`

Reinicia o serviço `chronyd` e recarrega o `/etc/chronyd.conf`.

6 Solução de problemas

Em caso de erros, verifique o seguinte.

- Verifique se o seu computador está conectado a uma rede e se a rede está configurada corretamente:

```
> sudo systemctl status network.service
● NetworkManager.service - Network Manager
```

```
Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/NetworkManager.service; enabled; vendor
preset: disabled)
Active: active (running) since Sat 2021-08-07 20:09:44 CEST; 4 days ago
[...]
```

- Verifique se os servidores de horário que você inseriu como fontes de horário existem e podem ser acessados pela rede. Por exemplo:

```
> ping pool.ntp.org
PING pool.ntp.org (85.199.214.101) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 85.199.214.101 (85.199.214.101): icmp_seq=1 ttl=37 time=29.9 ms
[...]
```

- Se o serviço `firewalld` estiver ativo no computador, verifique se o serviço NTP é permitido.
- Verifique se o serviço `chronyd` está em execução:

```
> sudo systemctl status chronyd.service
● chronyd.service - NTP client/server
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/chronyd.service; enabled; vendor
  preset: disabled)
   Active: active (running) since Sat 2021-08-07 20:09:44 CEST; 4 days ago
  [...]
```

- Se o horário do sistema em um convidado virtualizado for diferente do horário exato, verifique se o horário do sistema do Servidor de Host de VM está sincronizado com um servidor de horário válido e se o convidado está sincronizado com a mesma fonte de horário do host.
- Se o serviço NTP não for iniciado corretamente durante a inicialização do sistema, isso pode ser causado por switches de rede configurados para usar o Spanning Tree Protocol, enquanto as portas não estão configuradas como Edge Ports, mas como Portfast. Nesse caso, pode levar até um minuto para que a conectividade de rede seja estabelecida.
- Se houver falha ao iniciar o serviço NTP durante a inicialização do sistema quando o NetworkManager for usado, edite o arquivo `/etc/sysconfig/network/config` e mude o valor de `NM_ONLINE_TIMEOUT` para 30. Se o problema persistir, aumente o valor do tempo de espera em 15 e tente novamente.
- Se as fontes NTP não puderem ser acessadas, identifique-as com o seguinte comando:

```
> chronyc sources -v
[...]
```

MS Name/IP address	Stratum	Poll	Reach	LastRx	Last sample
^* time.mydomain.com	3	10	377	81	-5354us[-8257us] +/- 191ms
^? ntp1.example.com	0	10	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns
^? 77.177.77.177	0	10	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns
^? ntp3.example.com	0	10	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns
^? ntp4.example.net	0	10	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns
^? 2a02:3d8:1::1:1	0	6	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns
^? ntp2.example.org	0	10	0	-	+0ns[+0ns] +/- 0ns

Nesse caso, o único servidor que está realmente exibindo o horário é `time.mydomain.com`. Geralmente, é necessário solucionar problemas de conexão de rede com as fontes de horário NTP remotas com falha.


7 Para obter mais informações

- A proteção do computador com o `firewalld` está descrita em <https://documentation.suse.com/sles/html/SLES-all/cha-security-firewall.html#sec-security-firewall-firewalld>.
- Os comandos para operar os serviços `systemd` estão listados em <https://susedoc.github.io/doc-modular/main/html/reference-systemctl-enable-disable-services/>.
- Para obter uma referência completa, consulte as páginas de manual relacionadas:
 Para obter uma lista completa de dispositivos de configuração, execute `man 1 chrony.conf`.
 Para obter uma lista completa dos comandos `chronyc`, execute `man 1 chronyc`.
 Para obter uma lista completa das opções de linha de comando `chronyd`, execute `man 8 chronyd`.

8 Informações legais

Copyright© 2006 – 2025 SUSE LLC e colaboradores. Todos os direitos reservados.

Permissão concedida para copiar, distribuir e/ou modificar este documento sob os termos da Licença GNU de Documentação Livre, Versão 1.2 ou (por sua opção) versão 1.3; com a Seção Invariante sendo estas informações de copyright e a licença. Uma cópia da versão 1.2 da licença está incluída na seção intitulada “GNU Free Documentation License” (Licença GNU de Documentação Livre).

Para saber as marcas registradas da SUSE, visite <https://www.suse.com/company/legal/> . Todas as marcas comerciais de terceiros pertencem a seus respectivos proprietários. Os símbolos de marca registrada (®, ™ etc.) indicam marcas registradas da SUSE e de suas afiliadas. Os asteriscos (*) indicam marcas registradas de terceiros.

Todas as informações deste manual foram compiladas com a maior atenção possível aos detalhes. Entretanto, isso não garante uma precisão absoluta. A SUSE LLC, suas afiliadas, os autores ou tradutores não serão responsáveis por possíveis erros nem pelas consequências resultantes de tais erros.

A GNU Free Documentation License

Copyright (C) 2000, 2001, 2002 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or non-commercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only. The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or non-commercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History"

section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.

- K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

```
Copyright (c) YEAR YOUR NAME.  
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document  
under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2  
or any later version published by the Free Software Foundation;  
with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.  
A copy of the license is included in the section entitled "GNU  
Free Documentation License".
```

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

```
with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the  
Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.
```

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.