NTP/NTSを使用した時刻の同期

概要

この記事では、時刻同期の概要と、時刻同期を設定する方法について説明します。

目的

タスクやリソースを他のチームメンバーとネットワーク経由で共有する際には、システム時刻の同期を維持することが非常に重要です。

所要時間

この記事を理解して、コンピュータで時刻同期の基本的な設定を行うのに60分ほどを要します。

要件

- Linuxシステム管理の基本的な知識があること。タスクに応じて`root`特権があること。
- ソースタイムサーバにアクセスするための内部ネットワーク接続またはインターネットへのネットワーク接続が機能していること。

発行日: 01/10/2026

目次

1 概要 3

2 /etc/chrony.confの調整によるNTPの設定 5

3 実行時のchronydの管理 9

4 NTSの設定 10

5 chronydsystemdサービス 12

6 トラブルシューティング 13

7 詳細情報 15

8 法的事項 15

A GNU Free Documentation License 15

1 概要

コンピュータ上で同期された正確なシステム時間を維持することは、チームワークにとって不可欠です。計画アプリケーションやカレンダアプリケーションは、このようなシステム時刻を利用して時間を正確に追跡し、時間どおりにユーザに予定を通知します。クラスタ化されたアプリケーションでは、多くの場合、ホストマシンどうしが相互に通信するには同期したシステム時刻が必要です。

内蔵ハードウェアクロックは信頼できるタイムソースではありません。システム時刻を手動で修正すると、時刻が突然変化することにより、重要なアプリケーションが誤動作する原因となることがあります。したがって、ネットワークを介して外部の信頼できるタイムソースにシステム時刻が同期している必要があります。

1.1 NTPとは

Network Time Protocol (NTP)は、ネットワークを通じてシステム時刻が同期するように設計されています。NTPの目標は、絶対時間を維持し、それを使用してネットワーク内のすべてのマシンのシステム時刻を同期することです。

1.2 NTSとは

Network Time Security (NTS)は、NTPのセキュリティ拡張機能です。NTSは、NTPメッセージを認証して暗号化するメカニズムを提供し、受信した時刻データが安全で信頼性が高いことを保証します。NTSは、既存のNTPインフラストラクチャと下位互換性があるように設計されています。これにより、NTSをサポートしていない既存のNTPサーバに変更を加えることなく、段階的な展開が可能になります。

1.3 NTPの動作

NTPサービスが適切に設定されている場合、このサービスは信頼できるタイムサーバに継続的に問い合わせ、システム時刻を調整します。一般的に、インターネットに接続された家庭用コンピュータなどのデバイスは、インターネット上のパブリックタイムサーバに問い合わせるように設定されています。

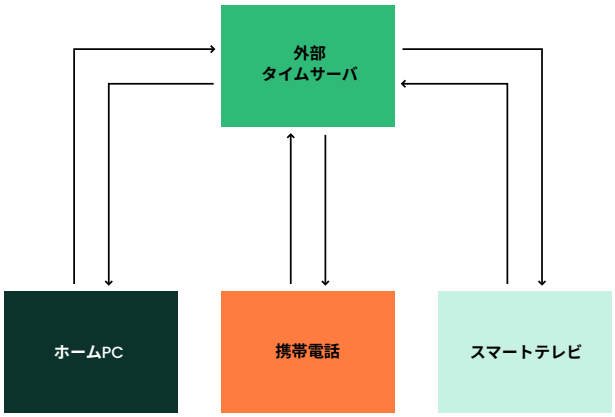

図 1: 公開タイムサーバに問い合わせる個々のデバイス

逆に、企業のサブネット内に存在するデスクトップコンピュータやサーバは、ローカルネットワーク内の専用のタイムサーバに問い合わせるように設定されています。このタイムサーバ自体は、公開タイムサーバの時刻に同期しています。

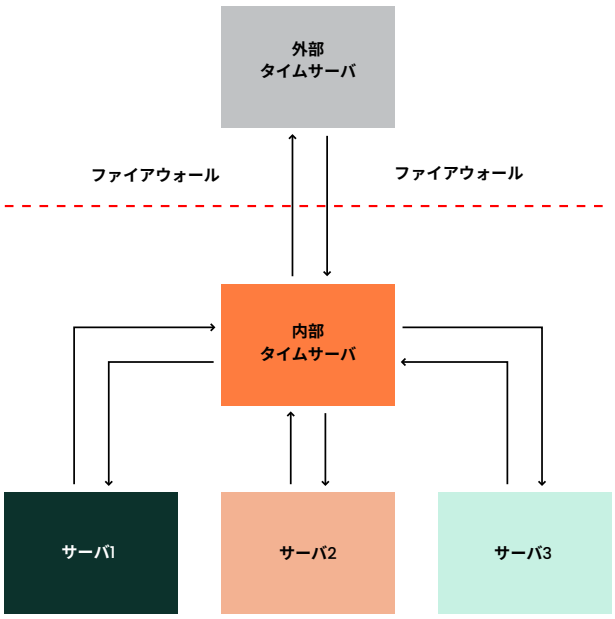

図 2: 内部タイムサーバに問い合わせる複数のホスト

1.3.1 実装

chronyは、SUSE Linux Enterprise ServerにおけるNTPのデフォルト実装です。chronyは次の2つの部分で構成されます。

- `chronyd`: 起動時に開始できる`systemd`サービスです。
- **`chronyc`**は、`chronyd`のパフォーマンスを監視し、実行時に特定の操作パラメータを変更するためのコマンドラインインタフェースプログラムです。

1.4 利点

NTPを使用して正確な時刻を維持することには、次の利点があります。

- スケジュールに従って行動する場合に時計を利用できます。
- スケジュール設定したデスクトップアクションやシステムアクションをアプリケーションで正確に開始できます。
- クラスタノードは、データを同期させて最新の状態に保つことができます。
- インターネットへのアクセスが制限されているネットワークでは、内部タイムサーバを使用して同期状態のシステム時刻を維持できます。
- NTSを介してNTPにセキュリティ対策を統合することで、プロトコルの堅牢性を高め、安全でない時刻同期に関連する脆弱性に対処します。

2 `/etc/chrony.conf`の調整によるNTPの設定

`chronyd`を起動すると、`/etc/chrony.conf`ファイルから設定が読み込まれます。以下の各セクションでは、`chronyd`の動作に影響すると考えられる重要なパラメータについて説明します。

2.1 タイムソースの指定

コンピュータの時計を同期状態で維持するには、どのタイムソースを使用するかを`chronyd`に指示する必要があります。このためには、`server`、`pool`、および`peer`のディレクティブを使用します。それぞれを複数回使用できます。

`server`ディレクティブは、特定のホストの名前またはIPアドレスを指定して、それをタイムサーバとして使用することを`chronyd`に指示します。

```
server 0.europe.pool.ntp.org offline❶
```

```
server 1.europe.pool.ntp.org offline prefer❷
server 192.168.2.254
```

❶ offlineオプションを使用すると、chronydからタイムサーバへの問い合わせができなくなります。このオプションは、chronydの開始時にタイムサーバにアクセスできない場合に効果的です。タイムサーバにアクセスできる場合は、**chronyc**を使用してタイムサーバをオンラインにする必要があります。詳細については、3項「実行時のchronydの管理」を参照してください。

❷ preferオプションは、このようなオプションが用意されていないタイムソースよりも、指定のタイムソースを優先的に使用することをchronydに指示します。

poolディレクティブを使用すると、時間の経過とともに切り替わる複数のIPアドレスに解決されるネットワーク名を指定できます。

```
pool pool.ntp.org iburst❶ maxsources 3❷
```

❶ iburstオプションを指定すると、4〜8件の要求のバーストからchronydが開始され、早い段階で時計の最初の更新が発生します。

❷ maxsourcesオプションは、プールから使用するソースを最大で3つにすることをchronydに指示します。

peerディレクティブは、タイムサーバの代わりにNTPピアホストを指定します。**ピア**間のシステム時刻の同期には、serverオプションとpoolオプションで呼び出すクライアント/サーバモードではなく、対称アーキテクチャを使用します。peerを複数回使用して複数のピアを指定できます。

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

2.2 NTPサーバとしてのchronydの実行

デフォルトでは、指定したNTPサーバのクライアントとしてchronydが機能します。これをNTPサーバとしても使用するには、/etc/chrony.confファイルにallowディレクティブを追加します。NTPサーバポート(デフォルトでは123)を開き、クライアントの要求に応答します。

単一のNTPクライアントのIPを指定できるほか、複数のクライアントを含むサブネットを指定することもできます。allowディレクティブは複数回使用できます。

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

ヒント

IPアドレスやサブネットを指定せずにallowディレクティブを単独で使用すると、すべてのIPv4およびIPv6アドレスからのアクセスを許可します。

記述したallowディレクティブによるアクセスを制限するには、その後にdenyディレクティブを記述します。

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

前期の例では、3つのディレクティブの記述順序に関係なく同じ効果が得られます。サブネット1.2.0.0/16はアクセスを許可されますが、サブネット1.2.3.0/24はアクセスを拒否されます。ただし、ホスト1.2.3.4のアクセスは許可されます。

2.3 ローカル基準の時計の設定

chronydは、gpsdなどの他のプログラムを使用して、特定のドライバからタイミングデータにアクセスします。/etc/chrony.confのrefclockディレクティブを使用して、タイムソースとして使用するハードウェア基準時計を指定します。これには、2つの必須パラメータ(ドライバ名とドライバ固有のパラメータ)があります。2つのパラメータの後には、ゼロ以上のrefclockオプションが続きます。chronydには、次のドライバが含まれています。

PPS

カーネルの**PPS(Pulse Per Second)**APIドライバ。次に例を示します。

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

SHM

NTP共有メモリドライバ。次に例を示します。

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

SOCK

Unixドメインソケットドライバ。次に例を示します。

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

PHC

PTPハードウェア時計ドライバ。次に例を示します。

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

ヒント

個々のドライバのオプションについて詳しくは、**man 8 chrony.conf**を参照してください。

2.4 オフラインタイムソースの有効化

chronydは、ネットワークに接続されていない状態でブートするシステム上でも正常に起動しますが、/etc/chrony.confで指定されたタイムサーバにはアクセスできません。アクセスできないタイムサーバへのchronydによる問い合わせを防止するには、タイムソースディレクティブに続いてofflineオプションを記述します。次に例を示します。

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

これにより、次のコマンドでサーバのポーリングを有効にしない限り、chronydではサーバがポーリングされません。

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

ヒント

offlineオプションの代わりにauto_offlineオプションを設定すると、タイムサーバに2つの要求を送信しても応答がなかった場合、chronydではそのタイムサーバがオフラインになっていると見なされます。このオプションを使用することで、ネットワークリンクを切断するときに**chronyc**から**offline**コマンドを実行する必要がなくなります。

3 実行時のchronydの管理

3.1 chronycとは

chronycは、chrony NTP実装のクライアント部分です。**chronyc**コマンドを使用して、実行時にchronydサービスの動作を変更できます。chronydの操作に関するステータスレポートも生成します。

注記: 一時的な変更

chronycを使用して行われた変更は、永続的ではありません。次回のchronydの再起動後に現在の変更内容は失われます。永続的な変更状態とするには、2項 「/etc/chrony.confの調整によるNTPの設定」の説明に従って/etc/chrony.confを変更します。

3.2 chronycの動作

chronycは、対話的モードと非対話的モードのどちらでも実行できます。**chronyc**を対話形式で実行するには、コマンドラインで「**chronyc**」と入力し、 `Enter` キーを押します。プロンプトを表示し、コマンド入力を待ちます。たとえば、オンラインまたはオフラインのNTPソースの数を確認するには、次のように**activity**コマンドを実行します。

```
# 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
```

chronycのプロンプトを終了するには、**quit**または**exit**を入力します。

対話型プロンプトを使用する必要がない場合は、次のようにコマンドを直接入力します。

```
# chronyc activity
```

4 NTSの設定

NTPプロトコルでは、タイムサーバとクライアント間の通信を認証および暗号化するためのセキュリティメカニズムは導入されていません。ネットワークタイムセキュリティ(NTS)は、NTPのセキュリティを強化する拡張機能です。chronyはNTSをサポートし、時間ソースを認証して特定のネットワーク攻撃から保護することができます。

以下の手順では、安全な時刻同期のためにタイムサーバとクライアントマシンを設定する方法について説明します。

手順 1: NTSタイムサーバの設定

1. (オプション) NTS経由で時刻を更新するようにタイムサーバを設定することをお勧めします。これにより、同期チェーンの最初から安全な時刻同期が保証されます。/etc/chrony.conf内のNTSをサポートしていない既存の時間ソースをコメントアウトし、NTSをサポートする時間ソースを少なくとも1つ追加します。次に例を示します。

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

   ### ヒント

   ntsオプションは、NTS接続が利用可能な場合はそれを要求し、NTSが利用できない場合はNTPにフォールバックします。

2. chronydサービスを再起動します。

   ```
   > sudosystemctl restart chronyd.service
   ```

3. 設定された時間ソースを確認します。

   ```
   > 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
   ```

   ### 注記

   ^*で始まる行には、最適として選択された時間ソースが含まれます。

   設定された時間ソースがNTSモードを使用していることを確認します。

```
> 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. サーバ設定に、どのクライアントがタイムサーバと時刻を同期できるかを指定する、`allow`オプションが含まれていることを確認します。次に例を示します。

```
allow 192.168.1.0/24
```

5. (オプション) タイムサーバがファイアウォールの背後で実行されている場合は、NTPとNTSの両方のポートでの通信を許可します。デフォルトでは123と4460です。

6. TLS証明書と対応する秘密鍵を取得し、`/var/lib/chrony/`にコピーします。`chrony`で読み取り可能であることを確認します。次に例を示します。

```
> 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/
```

ヒント

TLS証明書の詳細については、専用の記事 (https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html) をご覧ください。

7. `/etc/chrony.conf`を編集し、`ntsdumpdir /var/lib/chrony`オプションがアクティブであることを確認します。次に、TLSキーと証明書へのパスを追加します。

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

8. `chronyd`サービスを再起動します。

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

手順 2: NTSクライアントの設定

1. 既存のNTPソースを無効にします。次に例を示します。

```
#server 192.168.1.1 iburst
```

ソース設定は、`/etc/chrony.conf`または`/etc/chrony.d/`の下のファイルに含まれています。

2. クライアントホストは、TLS証明書に署名したルートCAを信頼する必要があります。CA証明書ストアを管理する方法の詳細については、専用の記事 (https://documentation.suse.com/smart/security/html/tls-certificates/index.html#tls-certificates-store)をご覧ください。

3. 手順1「NTSタイムサーバの設定」で設定したNTSタイムサーバソースを、/etc/chrony.confのクライアントchrony設定に追加します。次に例を示します。

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

4. chronydサービスを再起動します。

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

5. クライアントで設定されたタイムソースを確認し、接続が認証されていることを確認します。

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

6. NTSタイムサーバで、NTS接続に関するクライアントごとの統計情報を確認します。

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

5 chronydsystemdサービス

chronyの主要部分は、バックグラウンドで動作して、選択したタイムサーバとシステム時刻を同期するchronydsystemdサービスです。次のsystemdコマンドを使用してchronydサービスを操作できます。

systemctl status chronyd.service
: chronydサービスの現在のステータスに関する詳しい情報を出力します。

systemctl is-enabled chronyd.service
: システムをブートするときにchronydサービスが自動的に開始される機能が有効になっているかどうかを確認します。

systemctl enabled chronyd.service
: システムをブートするときにchronydサービスが自動的に開始される機能を有効にします。

systemctl disable chronyd.service
: システムをブートするときにchronydサービスが自動的に開始される機能を無効にします。

systemctl is-active chronyd.service
: chronydサービスが開始されていて実行中かどうかを確認します。

systemctl start chronyd.service
: chronydサービスを開始します。

systemctl stop chronyd.service
: chronydサービスを停止します。

systemctl restart chronyd.service
: chronydサービスを再起動し、/etc/chronyd.confを再ロードします。

6 トラブルシューティング

エラーが発生した場合は以下を確認します。

- コンピュータがネットワークに接続されていること、およびネットワークが正しく設定されていることを確認します。

```
> 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
[...]
```

- タイムソースとして入力したタイムサーバが存在していて、ネットワーク経由でアクセスできることを確認します。次に例を示します。

```
> 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
[...]
```

- 使用しているコンピュータ上でfirewalldサービスがアクティブになっている場合は、NTPサービスが許可されていることを確認します。
- 次のように、chronydサービスが実行されていることを確認します。

```
> 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
 [...]
```

- 仮想化ゲストのシステム時刻が正確な時刻と異なる場合は、VMホストサーバのシステム時刻が有効なタイムサーバと同期されていること、およびゲストがホストと同じタイムソースと同期されていることを確認します。
- システムのブートでNTPサービスが正しく起動しない場合は、`Portfast`ではなく`Edge Ports`としてポートを設定した状態で、`Spanning Tree Protocol`を使用するようにネットワークスイッチを設定していることが原因として考えられます。この場合は、ネットワーク接続が確立されるまでに最長で1分程度を要することがあります。
- NetworkManagerの使用時に、システムブート中にNTPサービスが開始しない場合は、`/etc/sysconfig/network/config`ファイルを編集して、`NM_ONLINE_TIMEOUT`の値を30に変更します。問題が解決しない場合は、タイムアウトの値を15増やして再試行します。
- NTPソースにアクセスできない場合は、次のコマンドでソースを特定します。

```
> 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
```

この場合、実際に時刻を提供しているサーバは`time.mydomain.com`のみです。障害が発生したリモートNTPタイムソースへのネットワーク接続について、一般的なトラブルシューティングも必要です。

7 詳細情報

- `firewalld`を使用してコンピュータをセキュリティで保護する方法については https://documentation.suse.com/sles/html/SLES-all/cha-security-firewall.html#sec-security-firewall-firewalld を参照してください。
- `systemd`サービスを操作するすべてのコマンドについては https://susedoc.github.io/doc-modular/main/html/reference-systemctl-enable-disable-services/ に説明があります。
- 詳しい情報については、次の関連するマニュアルの該当ページを参照してください。
  すべての設定ディレクティブについては**`man 1 chrony.conf`**を実行してください。
  すべての**`chronyc`**コマンドについては**`man 1 chronyc`**を実行してください。
  すべての`chronyd`コマンドラインオプションについては**`man 8 chronyd`**を実行してください。

8 法的事項

Copyright© 2006–2026 SUSE LLC and contributors. All rights reserved.

この文書は、GNU Free Documentation Licenseのバージョン1.2または(オプションとして)バージョン1.3の条項に従って、複製、頒布、および/または改変が許可されています。ただし、この著作権表示およびライセンスは変更せずに記載すること。ライセンスバージョン1.2のコピーは、「GNU Free Documentation License」セクションに含まれています。

SUSEの商標については、https://www.suse.com/company/legal/ を参照してください。その他の第三者のすべての商標は、各社の所有に帰属します。商標記号(®、™など)は、SUSEおよび関連会社の商標を示します。アスタリスク(*)は、第三者の商標を示します。

本書のすべての情報は、細心の注意を払って編集されています。しかし、このことは正確性を完全に保証するものではありません。SUSE LLC、その関係者、著者、翻訳者のいずれも誤りまたはその結果に対して一切責任を負いかねます。

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. Secondarily, 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.