Snapperの基本的なコンセプト

概要

この記事では、Btrfsファイルシステムのスナップショットを作成および管理するために使用されるSnapperツールの基本的なコンセプトについて説明します。

目的

この記事では、Snapperの基本的な概要、サポートされているインタフェース、および主な目的について説明します。また、SUSE Linux Enterprise Serverのスナップショットのデフォルト設定についても説明します。

所要時間

Snapperとそのデフォルト設定を理解するには、最大20分かかります。

要件

- `root`特権または**sudo**特権
- Snapperをインストールする必要があります。デフォルトでは、SUSE Linux Enterprise Serverで利用できます。
- 16GB以上のルートパーティション(/)のサイズ。ルートパーティションのサイズは、製品によって異なります。50GB以上を強くお勧めします。

注記

この記事は、Snapperに関する連載記事の第1回です。以降の記事では、変更の取り消し、システムのロールバック、スナップショットの手動作成と管理、スナップショットの自動クリーンアップなどの一般的なユースケースについて説明します。各記事は、前の記事で得た知識を基に構成されており、Snapperツールの理解を徐々に深めることができます。

発行日: 01/10/2026

目次

1 Btrfsサブボリュームとスナップショットの基本コンセプト 3

2 Snapperとは 3

3 Snapperのデフォルトセットアップ 7

4 詳細情報 12

5 法的事項 12

A GNU Free Documentation License 13

1 Btrfsサブボリュームとスナップショットの基本コンセプト

Btrfsサブボリュームは物理パーティション内で別個にマウント可能なファイルシステムです。Btrfsファイルシステムは、デフォルトでサブボリュームを使用してセットアップされています。Btrfsのスナップショットは、別のサブボリュームとデータを共有するサブボリュームの一種です。これらはBtrfsのコピーオンライト機能を使用して作成されるため、ディスク容量の使用量を最小限に抑えてすばやく作成できます。スナップショットを使用すると、特定の時点におけるファイルシステムの状態をキャプチャし、必要に応じて以前の状態にロールバックできます。

Btrfsサブボリュームには、独自の独立したファイルおよびディレクトリ階層があります。ブロックレベルで動作するLVM論理ボリュームとは異なり、Btrfsサブボリュームはファイルエクステントベースです。スナップショットは、元のサブボリュームの初期コンテンツを保持するサブボリュームとも見なされます。サブボリュームはディレクトリとして表示され、名前の変更や移動など、他のディレクトリと同様に操作できます。

サブボリュームの主な目的の1つは、スナップショットに明示的に含めたり、スナップショットから除外することです。スナップショットを使用してシステムをロールバックする場合、ユーザのホームディレクトリ、WebサーバとFTPサーバのコンテンツ、ログファイルなどのデータがロールバック中に失われたり、上書きされたりしないようにする必要があります。これは、スナップショットから特定のBtrfsサブボリュームを除外することで実現されます。詳細情報と除外されるサブボリュームのリストについては、3.3項「スナップショットから除外されるサブボリューム」を参照してください。

2 Snapperとは

Snapperは、ファイルシステムのスナップショットを作成および管理するのに役立つツールです。ファイルシステムスナップショットは特定の時点でのファイルシステムの状態のコピーを保持できます。Snapperは、スナップショットの作成と比較、スナップショット間での復元を行うことができ、自動スナップショットタイムラインをサポートします。Snapperはスナップショットの内容を変更しません。

Snapperの標準セットアップは、システムの変更のロールバックを許可するように設計されています。ただし、これを使用して、ユーザデータのオンディスクバックアップを作成することもできます。この機能の基盤として、Snapperは次の2種類のファイルシステムを使用します。

- Btrfs。サブボリュームのファイルシステムスナップショットをネイティブにサポートするLinux用のコピーオンライトファイルシステム。
- XFSおよびext4でフォーマットされたシンプロビジョニングLVMボリューム。

注記

`Btrfs`スナップショットから起動することもできます。

2.1 Snapperで可能なこと

Snapperには、コマンドラインインタフェースがあり、スナップショットの作成、削除、比較ができるほか、スナップショット間で行われた変更を元に戻すこともできます。

Snapperを使用して、次のタスクを実行できます。

- **zypper**で行ったシステムの変更を元に戻す。
- 古いスナップショットからファイルを復元する。
- スナップショットからブートすることによってシステムをロールバックする。
- 実行中のシステム内で、スナップショットを手動で作成および管理する。
- スナップショットの自動クリーンアップを実行します。

2.2 スナップショットのタイプ

スナップショットは、スナップショットトリガイベントとスナップショット作成時刻という2つの側面に基づいて分類できます。

トリガイベントに基づくスナップショットタイプ

スナップショット自体は技術的な意味では同じですが、トリガするイベントに基づいて、次の3種類のスナップショットを区別しています。

インストールスナップショット

1つ以上のパッケージがインストールされるたびに、スナップショットは次のように作成されます。

- スナップショット`0 single`は常にSnapperに存在します。これは、常に現在のシステム状態を指し、`Description`列に表示されます。このスナップショットは、インストールプロセスが完了した直後のシステムの状態をキャプチャします。
- ルートパーティション(/)のスナップショット`1 single`は、`first root filesystem`という名前で自動的に取得されます。このスナップショットは、最初のシステム更新または設定セットの後に取得されます。
- スナップショット`2 single`は、`after installation`という名前で自動的に取得されます。このスナップショットはインストールプロセスの最後に作成され、`important`とマークされます。すべての初期セットアップが完了した後のシステムの状態を表します。

古いスナップショットは自動的に削除されます。デフォルトでは、最新の10個の重要なスナップショットと最新の10個の「通常」のスナップショット(管理スナップショットを含む)が保持されます。インストールスナップショットはデフォルトで有効になっています。インストールスナップショットを手動で無効にするには、パッケージ`snapper-zypp-plugin`をアンインストールします。

管理スナップショット

システムに変更を加える場合、常にスナップショットのペアが作成されます。システム変更前のスナップショット(「事前」)とシステム変更後のスナップショット(「事後」)です。古いスナップショットは自動的に削除されます。デフォルトでは、最新の10個の重要なスナップショットと最新の10個の「通常」のスナップショット(インストールスナップショットを含む)が保持されます。管理スナップショットはデフォルトで有効になっています。

タイムラインスナップショット

1時間ごとに1つのスナップショットが作成されます。タイムラインスナップショットは、ルートファイルシステムを除きデフォルトで有効になっています。タイムラインスナップショットのデフォルトの間隔は、時間単位、日単位、週単位、月単位、および年単位です。これらの間隔を変更するには、Snapper自体では設定できないため、Snapperのsystemdタイマーを直接変更する必要があります。古いスナップショットは自動的に削除されます。デフォルトで、最近10日間、10カ月間、10年間の最初のスナップショットが保持されます。

重要: インストールスナップショットタイプと管理スナップショットタイプの例外

インストールスナップショットタイプと管理スナップショットタイプは、トランザクションシステムには適用されません。

注記

タイムラインスナップショットと管理スナップショットは、個別に有効または無効にできます。

作成時刻に基づくスナップショットタイプ

管理スナップショットとインストールスナップショットの中で、Snapperは3つの異なるタイプ(pre、post、single)を認識します。これらは物理的には同じものですが、Snapperでは別のものとして扱われます。

`pre`

変更**前**のファイルシステムのスナップショットです。各preスナップショットはpostスナップショットに対応しています。たとえば、これは自動スナップショットに使用されます。

`post`

変更**後**のファイルシステムのスナップショットです。各postスナップショットはpreスナップショットに対応しています。たとえば、これは自動スナップショットに使用されます。

`single`

スタンドアロンのスナップショットです。たとえば、これは1時間ごとの自動スナップショットに使用されます。これは、スナップショットを作成する際のデフォルトの種類です。

これは、ルートパーティションが16GBを超えるシステムを新規にインストールした直後のスナップショットのリストです。

```
# | Type   | Pre # | Date                     | User | Used Space | Cleanup | Description
          | Userdata
-----+--------+-------+--------------------------+------+------------+---------
+----------------------+--------------
0  | single |       |                          | root |            |         | current
           |
```

```
1  | single |       | Thu Mar 24 12:14:34 2022 | root |  32.44 MiB |         | first root
 filesystem |
2  | single |       | Thu Mar 24 12:25:55 2022 | root | 280.40 MiB | number  | after
 installation    | important=yes
45 | pre    |       | Mon Apr 25 17:58:45 2022 | root |  27.52 MiB | number  |
 zypp(zypper)          | important=yes
46 | post   |    45 | Mon Apr 25 18:00:07 2022 | root |  39.04 MiB | number  |
           | important=yes
```

2.3 スナップショットの作成

スナップショットを作成すると、スナップショットとスナップショット元のファイルは、 いずれもファイルシステム内の同じブロックを指します。そのため、最初は、スナップショットが余分にディスク容量を占めることはありません。元のファイルシステムのデータが変更されると、変更されたデータブロックがコピーされ、古いデータブロックはスナップショットのように保持されます。このため、スナップショットは、変更されたデータと同じ容量を占めます。こうして、時間が経過するにつれて、スナップショットの領域は大きくなっていきます。その結果、スナップショットを含むBtrfsファイルシステムからファイルを削除しても、ディスクの空き容量が**増えない**ことがあります。

注記: スナップショットの場所

スナップショットは常に、スナップショット作成元と同じパーティションまたはサブボリュームに保存されます。別のファイルシステムにスナップショットを保存することはできません。

結果として、スナップショットを含むパーティションは、スナップショットを含まないパーティションよりも大きくする必要があります。具体的な容量は、保持するスナップショット数やデータの変更頻度によって大きく異なります。経験則として、パーティションには通常の2倍の容量を割り当てます。ディスク容量が不足しないようにするために、古いスナップショットは自動的にクリーンアップされます。

3 Snapperのデフォルトセットアップ

Snapperのデフォルトセットアップとそのデフォルト設定について習得します。

Snapperは、システム変更の「取り消しおよび回復ツール」として設定されています。デフォルトでは、SUSE Linux Enterprise Serverのルートパーティション(/)はBtrfsでフォーマットされています。ルートパーティション(/)に十分な容量(約16GB以上)がある場合、スナップショットの作成が自動的に有効になります。デフォルトでは、スナップショットは/以外のパーティションでは無効になっています。

重要

スナップショット付きでシステムをインストールした後、スナップショットを手動で有効化することはお勧めしません。インストール後にSnapperを有効にすると、ここで説明されているものとは異なるセットアップになります。

ヒント: ルートパーティションのサイズを確認する

ルートパーティションのサイズは製品固有です。ルートパーティションが占めているディスク容量を確認するには、次のコマンドを実行します。

```
> df -h
```

3.1 Snapperのデフォルト設定

デフォルトでは、SUSE Linux Enterprise Server上のSnapperは、次の要件が満たされている場合、システムインストール時に自動的に設定されます。

- ルートパーティションのサイズ: > 16GB
- ルートパーティションファイルシステム:Btrfs

スナップショットはルートパーティションに対してのみ作成され、特定のディレクトリはサブボリュームによって除外されます。除外されるサブボリュームのリストについては、3.3項「スナップショットから除外されるサブボリューム」を参照してください。スナップショットのタイプ、スナップショットの作成時刻、および作成機会の詳細については、2.2項「スナップショットのタイプ」を参照してください。

Snapperは、ルートパーティションの容量不足を防ぐための自動スナップショットクリーンアップアルゴリズムを提供します。これらのアルゴリズムは、タイムラインスナップショットと**番号付き**スナップショット(管理スナップショットとインストールスナップショットのペア)を区別します。クリーンアップの動作は、次の基準に基づいて設定できます。

- 数制限:スナップショットが特定の数に達したときに古いスナップショットを自動的に削除するようにシステムを設定できます。
- 保持期間制限:一定の保持期間を超えた古いスナップショットは削除できますが、各期間(毎時、毎日、毎月、毎年)のスナップショットの数は保持されます。
- Preとpostのスナップショットのペア: 差異のないpreとpostのスナップショットのペアは自動的に削除できます。

管理スナップショットとインストールスナップショットのペアを含む番号付きスナップショットの場合、クリーンアップは、NUMBER_CLEANUP、NUMBER_LIMIT、NUMBER_LIMIT_IMPORTANT、NUMBER_MIN_AGEなどのパラメータによって制御されます。デフォルト値は、NUMBER_LIMITが2〜10、NUMBER_LIMIT_IMPORTANTが4〜10です。これは、最も新しいスナップショットのみが保持されることを意味します。

タイムラインスナップショットの場合、クリーンアップは、各タイプ(毎時、毎日、毎週、毎月、毎年)で保持するスナップショットの数に基づいて行われます。たとえば、過去24時間ごとのスナップショット、過去7日間の最初の毎日のスナップショット、過去12カ月間の月の最終日に作成された最初のスナップショットなどです。パラメータには、TIMELINE_CLEANUP、TIMELINE_MIN_AGE、およびTIMELINE_LIMIT_DAILY、TIMELINE_LIMIT_HOURLYなどの間隔パラメータが含まれます。

既存のスナップショットには、それぞれのスナップショットから起動し、後でアクティブにすることで、いつでもロールバックできます。

注記: Snapperの自動および手動の無効化

ルートパーティションが16GB未満の場合、上記のスナップショットの自動作成はデフォルトで無効になっています。この場合、スナップショットを手動で作成できます。使用可能なディスク容量に注意してください。

ルートパーティションのサイズが十分である場合でも自動スナップショットを無効にするには、インストール中のパーティションのセットアップ手順でスナップショットを手動で無効にします。

3.2 ルート上のSnapper

Snapperがルート上で動作するように設定されている場合、デフォルトではすべてのBtrfsサブボリュームが除外されます。

Snapperのデフォルト動作は、各パーティションまたはBtrfsサブボリュームに固有の設定ファイルで定義できます。これらの設定ファイルは、`/etc/snapper/configs/`に保存されます。

警告: インストール済みシステムでのSnapperの有効化

インストール中にSnapperを無効にした場合、後からいつでも有効にできます。ただし、インストール後にSnapperを有効にすると、サブボリュームのレイアウトや変数などが異なります。インストールを開始する**前に**、システムでスナップショットが必要かどうかをに決定することを強くお勧めします。

3.3 スナップショットから除外されるサブボリューム

スナップショットの主なユースケースは、システムを以前の状態にロールバックすることです。そのため、スナップショットが無効になっている特定のサブボリューム(ディレクトリ)が存在します。

次のリストには、スナップショットから除外されるディレクトリが含まれています。製品やアーキテクチャによっては、そのすべてがシステムで使用できるとは限りません。

`/boot/grub2/i386-pc`、`/boot/grub2/x86_64-efi`、`/boot/grub2/powerpc-ieee1275`、`/boot/grub2/s390x-emu`

ブートローダ設定のロールバックはサポートされていません。これらのディレクトリは、アーキテクチャ固有です。最初の2つのディレクトリはAMD64/Intel 64マシン上に存在し、その後の2つのディレクトリはそれぞれIBM POWERとIBM Z上に存在します。

`/home`

`/home`が独立したパーティションに存在していない場合、ロールバック時にユーザ作成データが失われるのを避けるために除外されます。

`/opt`、`/usr/local`

これらのディレクトリは、サードパーティ製品を手動でインストールするときに使用されます。ロールバック時にこれらのインストール済みソフトウェアがアンインストールされるのを避けるために除外されます。

`/srv`

WebおよびFTPサーバ用のデータが保存されています。ロールバック時にデータが失われるのを避けるために除外されます。

`/tmp`

スナップショットから除外される一時ファイルとキャッシュを含むすべてのディレクトリ。

`/var`

このディレクトリには、ログ、一時キャッシュ、`/var/opt`のサードパーティ製品など、変更されるファイルが多数保存されています。また、仮想マシンのイメージとデータベースがデフォルトで置かれる場所です。したがって、このサブボリュームはスナップショットからすべてのこのバリアブルデータを除外するように作成され、コピーオンライトが無効になっています。

`/run`

このディレクトリにはアプリケーションのランタイムデータが含まれており、スナップショットのサイズを縮小し、潜在的に機密性の高い情報を含めないようにするためにスナップショットから除外されています。

ヒント

サブボリュームのリストは製品固有です。`/`の下にどのサブボリュームが作成されているかを確認し、どのディレクトリがデフォルトのスナップショット動作から除外されているかを確認するには、次のコマンドを実行します。

```
> sudo btrfs subvolume list /
```

注記: 容量制限がある理由

スナップショットを作成する際、物理データのコピーは作成されません。スナップショットは、それぞれのデータブロックへのポインタのみで構成されます。スナップショットが現在のシステムと一貫性を保っている限り、(スナップショットに含まれるメタデータは別として)スナップショットは追加のディスク容量をほとんど占有しません。ただし、システム上でファイルが変更された場合、元のデータはスナップショットに記録されます。時間の経過とともに、より多くの変更が蓄積され、スナップショットがライブシステムから乖離すると、それに応じてスナップショットのサイズが増加します。

ディスクがいっぱいになる(その結果、システムが動作不能になる)ことを防ぐために、ルートファイルシステムのサイズを最小限に抑えることをお勧めします。必要なサイズは、システムの使用状況によって異なります。

- スナップショット作成の頻度
- スナップショットが保持される期間
- システムに対する変更率

一般に、スナップショットの数が多いほど、スナップショットの保持期間が長くなり、システムの変更頻度が高ければ高いほど、ルートパーティションを大きくする必要があります。

4 詳細情報

Btrfsファイルシステムの詳細については、https://documentation.suse.com/sles/15-SP5/html/SLES-all/cha-filesystems.html#sec-filesystems-major-btrfs および https://wiki.archlinux.org/title/btrfs を参照してください。

LVMボリュームの詳細については、https://documentation.suse.com/sles/15-SP5/html/SLES-all/part-lvm.html を参照してください。

5 法的事項

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

この文書は、GNUフリー文書ライセンスのバージョン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.