

仮想という考え方

総合科目「IT革命を解き明かす」、2006年10月30日

筑波大学システム情報工学研究科/電子・情報工学系

新城 靖

<yas @ cs.tsukuba.ac.jp>

このページは、次の URL にあります。

<http://www.softlab.cs.tsukuba.ac.jp/~yas/gen/it-2006-10-30>

あるいは、次のページから手繰っていくこともできます。

<http://www.softlab.cs.tsukuba.ac.jp/~yas/gen/>

<http://www.cs.tsukuba.ac.jp/~yas/>

印刷配布資料 <http://www.softlab.cs.tsukuba.ac.jp/~yas/gen/it-2006-10-30/it-2006-10-30.pdf>

■今日の重要な話

- コンピュータの内部には、ハードウェア以外に、ソフトウェアの働きによってつくられたさまざまな幻影（オブジェクト、仮想的な「もの」）が存在する。
 - ファイル
 - プロセス
 - ウィンドウ
- 基本的な幻影を創っているソフトウェアが、オペレーティング・システムである。
- コンピュータが発達してきて、「仮想(virtual)」という考え方が広がってきた。
 - 仮想記憶(virtual memory)
 - 仮想計算機(virtual machine)
 - 仮想回線(virtual circuit)
 - 仮想専用線(virtual private network)
 - 仮想LAN(virtual LAN)
 - 仮想現実(virtual reality)
- 基本的な幻影を創っているソフトウェアが、オペレーティング・システムである。
- コンピュータに仕事をさせるには、代理人としてプロセスをつくる。

コンピュータをうまく使いこなすには、いくつかのコンピュータの内部にある幻影が存在すると信じることができるとかにかかっている。その中で、ファイルという幻影がもっとも重要である。

■幻影

人間は（コンピュータがなくても）さまざまな幻影を使っている。

- 愛、正義、根性
- お金、国家
- 整数、実数、複素数
- 分子、原子、電子、陽子、中性子、クォーク

◆コンピュータの中の幻影

オブジェクト(object)

もの。コンピュータの中にはいる人間(専門家)のようなもの。記憶ができる。コピーすると別のものになる。名詞。

機能。操作。

オブジェクトを操作するもの。動詞。

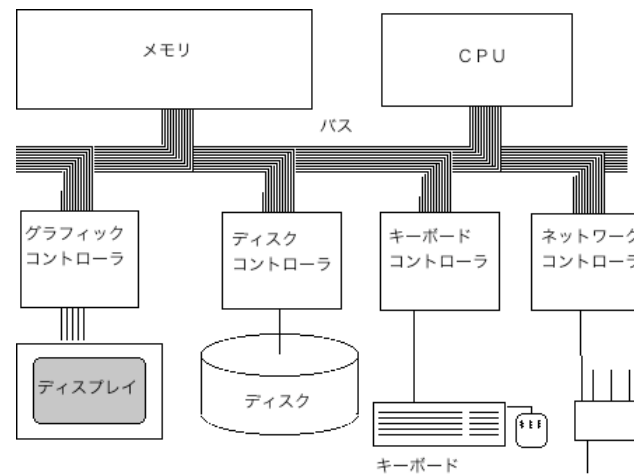
- コピーする(通信)。
- 保存する。
- 加工する。選別する(フィルタリング)。

保存されたものは、オブジェクト。保存する行為は、機能。

幻影は、ハードウェアとソフトウェアの両方の役割によって作り上げられる。

◆ハードウェア

コンピュータを構成する、幻影以外のもの。目に見えるもの。



図コンピュータのハードウェアの構成要素

- CPU(Central Processing Unit)。主に計算をする部品。
- メモリ(主記憶)
- 入出力装置(I/O)。コントローラと呼ばれる部品を経由して接続されている。
 - ハードディスク(2次記憶)
 - キーボード
 - マウス
 - ディスプレー(液晶、CRT、)
 - ネットワーク

部品は、「バス」と呼ばれる配線の束で結ばれている。部品間は、バスを通じてデータを交換する。

コンピュータの内部の部品

- 計算のための部品
- [記憶のための部品](#)
- 通信のための部品

◆ソフトウェア

(役にたつ)ビットの並び。

- プログラム
- データ
 - ワープロの文書、電子メールの内容
 - 辞書
 - 音楽
 - 映画
 - 書籍(になるような内容)
 - テレビ番組(になるような内容)

◆コンピュータを扱う上で重要な幻影

- 仮想記憶、仮想計算機
- ファイル
- ディレクトリ (フォルダ)
- プロセス
- (ウインドウ)
- (トランザクション)

画面には表示されないものが、存在すると思えば、コンピュータの扱いが簡単になる。

コンピュータを創る側の都合で作り出してしまった不便な幻影も多い。

- さまざまな文字コード
- 再起動
- パッチ、修正プログラム、サービスパック、Windows Update
- クッキー
- (キャッシュ(cache)) -- 使い方によっては便利

IT革命の時代には、コンピュータを創ってきた人の考え方(文化)を理解できていると便利(有利)なことも多くなってきた。

例：

- 仮想
- (キャッシュ(cache)) -- 使い方によっては不便
- Undo
- トランザクション

IT革命以前の例。

- 物理(宇宙論、原子、因果、熱力学、・・・)
- 生物(DNA、遺伝子、・・・)

■仮想記憶(仮想メモリ)

◆記憶のための部品：メモリ

コンピュータの中では、いろいろな種類の記憶のための部品、すなわち、メモリが使われている。もっとも重要なものは、メインメモリ(主記憶)と呼ばれているもので、単にメモリといった時には、メインメモリを差す。

メインメモリは、IC(Integrated Circuit、シリコンという元素による半導体で作られた電気回路)でできている。その他に、ハードディスクやフロッピー・ディスクも重要な記憶のための部品である。

メモリ(RAM(Random Access Memory))

実行中のプログラムを保持する。加工するデータを一時的に保持する。非常に速い。容量は、ハードディスクよりは小さい。値段が高い。(揮発的(電源を切ると消えてしまう。))

ハード・ディスク(HD(Hard Disk)、HDD(Hard Disk Drive))

プログラムやデータをデータを保持する。容量は、メモリより大きい。値段が安い。(永続的である(電源を切っても残っている。))

メモリには、数字で番地(アドレス)が付いている。番地を指定して、データを保存する。番地を指定すると、データが取り出せる。

◆仮想記憶(仮想メモリ)

仮想記憶(仮想メモリ、virtual memory)とは、[オペレーティングシステム\(後述\)](#)の働きにより、実際に備えているメモリ容量よりも大きなプログラムを動かすための仕組みである。

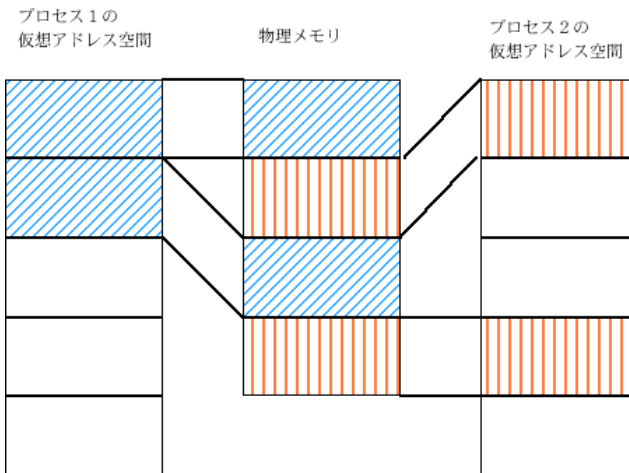


図 仮想記憶によるプログラム（プロセス）の実行

仮想記憶を使うと、メモリが100Mバイトしかないコンピュータで、200Mバイトのメモリを使うプログラムを実行することができるようになる。

もともとは、1つのプログラムで実際のメモリ容量以上のものを使うための仕組みである。最近では、複数のプログラムが使うメモリの総量で考えることもある。

仮想記憶の基本的なアイデアは、すぐに使うところだけを速いメモリ（IC）に、当分使わない所を、遅いハードディスクに置き、ディスクとメモリの内容を入れ替えながら仕事を進めることである。この時、速いメモリを主記憶（main memory, primary storage）、遅いハードディスクを二次記憶（secondary storage）とう。

◆置き換えアルゴリズム

主記憶が足りなくなった時に、どうするか。

- OPTアルゴリズム。最も遠い将来まで利用されない部分を二次記憶へ。
- FIFOアルゴリズム。最も早い時刻に読み込まれた部分を二次記憶へ。
- Randomアルゴリズム。ランダムに選んで二次記憶へ。
- LRU((Least Recently Used))アルゴリズム。最も長い時間参照されていない部分を二次記憶へ。

一番いいのは、OPTアルゴリズムだが、実現不可能。未来の情報を使うので。LRUは、過去の情報を使って未来を予測する方法。

野口悠紀雄の「超整理法」の押し出しファイルは、LRUアルゴリズム。

アルゴリズム(手法、算法)とは、問題を解くためのあらかじめ記述された定義の明確な規則、あるいは、指示の集まり。日本語などで書くこともできる。直接的にはコンピュータでは実行できない。なんらかの方法で実行できるようになったものは、プログラムである。

■仮想という考え方

◆コンピュータ由来の「仮想」の意味

仮想記憶は、「仮想」という言葉が付く言葉で、もっとも基本的なもの。

- 仮想記憶(virtual memory)
- 仮想計算機(virtual machine)
- 仮想回線(virtual circuit)
- 仮想専用線(virtual private network)
- 仮想LAN(virtual LAN)
- 仮想現実(virtual reality)

類語：論理(logical) (←物理、物理フォーマット/論理フォーマット)、抽象(abstract)

反語：実(real)

◆一般の辞書に現れる「仮想」の定義

辞書の定義は、今一つ。仮想記憶との類推で仮想という考え方を押さえない。「仮想敵国」の「仮想」と「仮想記憶」の「仮想」は別物である。

仮想 (広辞苑)

仮に考えること。仮に想定すること。例：仮想敵国。

仮想敵国 (広辞苑)

a hypothetical [potential] enemy.

virtual→形A(比較なし) (研究社新英和中辞典)

1 (表面または名目上はそうでないが)事実上の、実質上の、実際(上)の：

It was a virtual promise. (約束ではないが)約束も同然だった /

He was the virtual leader of the movement. 彼はその運動の事実上の指導者だった。

2 【光】虚像の(<->real)：a virtual image 虚像。

■仮想計算機(virtual machine)

計算機(専門用語)とは、コンピュータのこと。電卓ではない。ハードウェアには存在しないが、実際の計算機(コンピュータ)と同じように命令セット、メモリ、入出力など機能をソフトウェア的に実現したもの。

◆仮想計算機の利用方法

- 1台のコンピュータで、複数のオペレーティング・システム用のアプリケーション・プログラムを同時に利用する。
- もともと複数のコンピュータで行っていた仕事を1台の物理的なコンピュータでこなすために集約する。
- ハードウェアが故障した時に、簡単に交換できる。バックアップやインストールが簡単である。

- クラッシュに強い。undoable disk
- オペレーティング・システムの開発環境として有効。
- セキュリティを高める。

◆さまざまな仮想計算機

IBM メインフレーム用 (1970年代)。

1台のハードウェアで数種類のOSを動かす。

Virtual PC, Real PC, VMware, Parallels Workstation

Windows PC のハードウェアと同じような動きをする。Macintosh や Linux で Windows 用のプログラムを実行するために使う。

vMac (Virtual Macintosh)

Unix, Windows 等で(古い)Macintosh 用のプログラムを動かす。

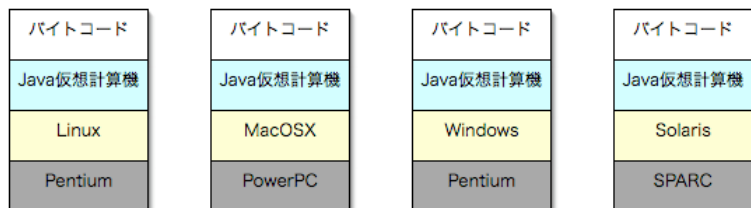
VirtualGameStation

Macintosh 上で Playstation のプログラムを動かす。

Java仮想計算機

Java 言語で書かれたプログラム (バイトコードに変換されたもの) を実行するための仮想計算機。

Java仮想計算機を使うと、さまざまな種類ハードウェア(CPU)やオペレーティング・システムで共通にバイトコードという機械語が使えるようになる。



図? 共通のバイトコードが使える

◆エミュレータとシミュレータ

エミュレータ: 別のシステムで、本物のシステムと同じ動きを真似するソフトウェア。本物は、必ずしもコンピュータ全体 (計算機) でなくてもよい。

- Wine: Windows のソフトウェア部分(API)をエミュレートする。
- 端末エミュレータ: [文字端末](#) の機能を全部、または、部分的にエミュレートする。

シミュレータ: 現実世界の予測に使うもの。数式でモデル化して計算で予測する。実際にやるとコストがかかるもの、取り返しがつかないものをコンピュータの中で実行する。現実の代わりにはならない。(エミュレータは、本物の代わりに同じように使える。)

- フライト・シミュレータ
- 地球シミュレータ

(文字)端末

1台の (高価な) 中央のコンピュータを、複数人で TSS (Time Sharing System)で使う時に使う

(安価な) コンピュータ。キーボードから打ち込まれた文字を中央のコンピュータに送る機能と、中央のコンピュータから送られてきた文字を画面に表示する機能がある。

◆セキュアVM

日本政府が決定した「セキュア・ジャパン2006」の項目の1つ。内閣官房情報セキュリティセンターが推進する。文部科学省平成18年度科学技術振興調整費「高セキュリティ機能を実現する次世代OS環境の開発」による支援を受ける。筑波大学がとりまとめ。電気通信大学、東京工業大学、慶應義塾大学、奈良先端科学技術大学院大学、豊田高専、富士通、NEC、日立製作所、NTT、NTTデータ、ソフトイーサの技術者が参加。インテルが技術協力。

目標

- オペレーティング・システムやアプリケーションに依存しない形でセキュリティ機能を付加する。
 - ICカード等による認証と起動制御
 - ハードディスクの暗号化
 - 仮想プライベート・ネットワークによる経路の暗号化
- Windows, Linux 等を実行する。

■仮想記憶、仮想計算機以外の仮想

◆仮想回線(virtual circuit)

インターネットで通信しあう2つのプログラムは、それらが動作している2台のコンピュータがあたかも物理的な回線で直結されているかのように見える。

実際には、間に何台ものルータと呼ばれる機器がある。

◆VPN(Virtual Private Network)

本当は、インターネットという、誰もがアクセスできるネットワークを通っているが、あたかも専用線(private network)で結ばれているように見せかける。

例:

- PPTP
- L2PT over IPsec
- OpenVPN
- SoftEther
- SSL-VPN

◆仮想LAN(Virtual LAN, vLAN)

1本の物理的な媒体上に、独立した複数のLAN (Local Area Network) を構築する。物理的に切れているLANとLANを接続する。

通常のLANで使うアドレスの前にvLANタグという、vLANを区別するアドレスを付ける。

VPN と vLAN の違いは、本質的にはあまりないが、実際問題として、vLAN は、「vLANタグ」を使うものの、間にルータが入らないものの意味で使われる。

◆仮想ディスク(virtual disk)

1つの大きなファイルを、1つのハードディスクと同じように扱えるようにしたもの。その仮想的なハードディスクを使うと、次のようなことができる。

- データを暗号化して保存する。
- 複数のファイルからなるソフトウェアを配布する。
- CD-R などに書き込むためのファイルを一時的に蓄える。

◆ユーザ・レベル・オペレーティング・システム

[オペレーティング・システム](#)は、本来ならハードウェア上で動作するものである。それを、一般のアプリケーションと同じように、他のオペレーティング・システム上で実行したものを、ユーザ・レベル・オペレーティング・システムという。

◆仮想ホスト(virtual host)

ネットワークに接続されたコンピュータをホストという。ホストは、サービスを提供するプログラム(サーバ)を動作とせるといふ意味もある。

仮想ホストは、本来なら複数のコンピュータが必要であったものを、1台に集約する。ただし、ネットワークを超えて向こう側で見た時には、1台に集約されていることには気がつかせない。

仮想ホストの実現方法

- 仮想計算機を使う
- を使う
- 個々のネットワーク・サービスで対応する
 - Apache Web サーバ
 - sendmail 等のメール・サーバ

◆仮想現実感(virtual reality)

高度なコンピュータ・グラフィックスやサウンドの技術を使って、実在しないものを(コンピュータの中に)実在しているかのごとく見せかける。

人間が働き掛けると、現実と同じように応答する。

◆仮想・・・

- 仮想都市、仮想社会
- 仮想大学、仮想教官、仮想学生
- ……

「仮想」には、以前は、空間(と時間)の制約で実現できなかったことが、コンピュータとネットワークの発達により可能になったという意味も生じてきている。

◆仮想と現実の違い

現実と仮想の違いは、存在するのか。

現実とは、何なのか。

現実も仮想も、脳の働きによって作り出されたもの。

■オペレーティング・システム

◆オペレーティング・システム (Operating System,OS) とは

- 基本ソフトウェア(プログラム)。
- 電源を入れて、使えるようになった時に動いているプログラム。(オペレーティング・システム以外のプログラムは、すべてオペレーティング・システムの働きで実行される。)
- コンピュータの「顔」を作る。基本的な考え方と操作方法とを決める。同じハードウェアでも、違うオペレーティング・システムが動くと、考え方も操作方法も違う。
- ソフトウェアにより、基本的なもの(幻影、オブジェクト)を提供する。
 - ファイルとディレクトリ
 - プロセス
 - ウィンドウ、アイコン
- 管理職。ハードウェアを管理する。メモリ管理、CPU管理。

◆オペレーティング・システムのメモリへの読み込みと実行

徒然草(つれづれぐさ)。八になりし年。最初の仏問題。

OSは、他のプログラムを実行するプログラムである。他のプログラムは、OSの力を借りてはじめて実行される。

ではOSは、誰が実行するか?

ブート・ストラップ(Boot strap,靴ひも)。ほら吹き男爵は、底なし沼に落ちた時に、自力で脱出するために、自分の靴ひもにつかまって脱出した。

BIOSがブートローダをメモリに読み込み、ブートローダを実行する。

ブートローダがOSをメモリに読み込み、OSを実行する。

BIOS(Basic Input Output System)、ROM Monitor。OSをハードディスクからメモリにコピーして、OSに制御を渡すプログラム。ROM(Read-Only Memory)という、少容量の不揮発的なメモリに入っている。古いシステムでは、(フロッピーディスクへの)基本的な入出力の機能が含まれていた。

◆オペレーティング・システムの種類

- Microsoft Windows95/98/2000/NT/XP
- MS-DOS
- Unix, Linux
- MacOS

ソフトウェアを買う時、自分のパソコンのOSで動作するものを買う。(CPUの種類も大事。同じOSでもCPUの種類がプログラムは違うと動作しない。)

自分が使いたいソフトウェアが動作するようなOSとCPUを積んだパソコンを買う。

◆歴史

- Loader
- Monitor
- バッチ処理
- TSS (Time Sharing System)
- ワークステーション用OS
- パソコン用OS
- ネットワークOS, 分散OS, 実時間OS

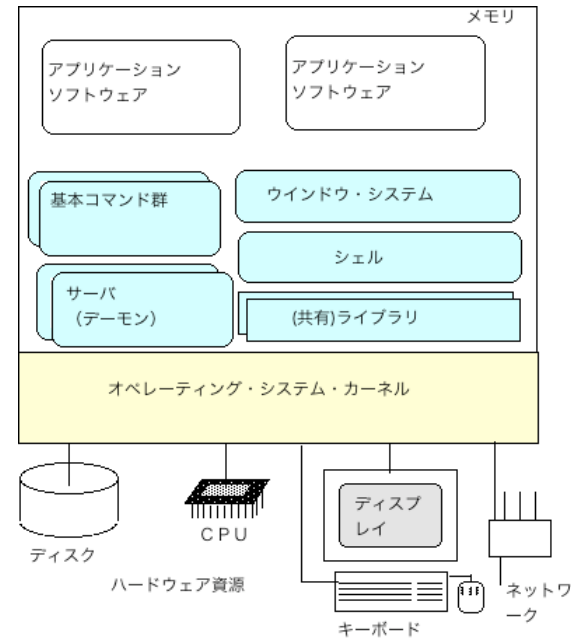
「パーソナル・コンピュータ」の考え方は、比較的新しい。昔は、コンピュータが高価だったので、1台のコンピュータを複数人(時には数百人)で同時に使うことが一般的だった。

TSS (Time Sharing System)では、1台のコンピュータを大勢の人で同時に使う、一人ひとり、自分で占有しているかのように見える。

◆構成要素

- カーネル
- シェル (User Interface)
- ウィンドウ・システム
- コマンド群
- Application Programming Interface (API) (ライブラリ、システム・コール)

APIは、ソフトウェアを創る人にとって重要。その他の要素は、一般利用者にも関係してくる。



図オペレーティング・システムの構成要素

一番人間(利用者)の目につきやすいのは、シェル。

◆シェルの機能

- プログラムの実行
- ウィンドウの重なる調整
- キーボードの切り替え(フォーカスの切り替え)。どのプログラム(プロセス)にキーボードのデータを送るかを定める。
- ファイルのコピー

■ファイルとディレクトリ

ファイルとは

- 永続的なメモリ(ハードディスクなど)を便利にしたもの(抽象化、仮想化)。
- 情報に名前を付けるためのもの

永続的

電源を切っても残っているもの

揮発的

電源を切ると消えてしまうもの

ディレクトリとは

- ファイルに名前をつけるための仕組み
- ファイル名の一覧表を含んでいるもの

◆ファイルの利便さ

- 物理的な記憶媒体によらずに、データを同じ方法であつかえる。
- 物理的な記憶媒体を、細かく分割して使える。
- 名前の管理をコンピュータがしてくれる。

物理的

ハードウェアに近い、ハードウェアの制約に縛られる

論理的(仮想的)

人間の思考、扱う情報に近い

1990年ごろコンピュータ：使いたいソフトウェアのフロッピ・ディスクを目でみて探し、コンピュータに入れて、リセットする。

2005年ごろの DVD ビデオレコーダの使い方：見たい番組を録画した DVD を目でみて探し、DVD ビデオレコーダに入れて再生ボタンを押す。

◆ファイルの性質

- 名前がある。
- 内容がある。内容は、符号化された情報（データ）やプログラム。
- 属性がある（メタデータ）。
 - 所有者（誰のものか）
 - 時刻（いつ作ったか）
 - 保護（内容を読み出せる権限があるかどうか、内容を変更する権限があるかどうか）

◆ファイルの分類、テキスト・ファイル

ファイルの内容による分類

テキスト・ファイル (text file)

内容として符合化された文字だけを含むファイル

バイナリ・ファイル (binary file)

テキスト・ファイル以外のファイル。CPUが解釈できるプログラムや 画像・音声データを含んだファイル。

ただし、「文字」といっても、ASCII という方法で符合化されたものだけを指すことがある。日本語の漢字を含むファイルの場合、テキスト・ファイルとして扱えることもあるが、バイナリ・ファイルとして扱わなければならないことがある。たとえば、インターネットでファイルをコピーするプログラム (ftp) では、漢字を含むデータをコピーする時に、バイナリ・ファイルとして扱う必要がある場合がある。

テキスト・ファイルは、次のような所で使われている。

- 電子メールの1つひとつ

- ネットワーク・ニュースの記事1つひとつ
- WWW のデータのうち、HTML で書かれたもの
- ソース・プログラム

テキスト・ファイルを作ったり、内容を修正するには、テキスト・エディタ (text editor)というプログラムを使う。テキスト・エディタは、ワープロと似ているが、文字に飾りを付けたり、図を入れたりすることはできない。「メモ帳(Windows)」、「テキストエディット(MacOSX)」、「emacs(Unix)」など。

■プロセス

プログラムとプロセス。

プロセスとは、オペレーティング・システムの働きにより、二次記憶に保存されていたプログラムがメモリ（主記憶）に読み込まれ、実行可能になったもの。

単にファイル（ハードディスク）に入っているも、プログラムはプログラムである。1つのプログラムを同時に2個動かすことを考えると、プログラムとプロセスの違いがわかる。

1つのプロセスから見ると、普段は自分一人で全部のコンピュータのハードウェアを利用しているように見える。コンピュータの仮想化の最初。

プロセスは、時々、他のプロセスからデータを受け取る（プロセス間通信）。

◆プロセスの類語

- プロセス
- タスク
- ジョブ

◆利用者の代理

プロセスは、コンピュータの中で利用者の代理という意味がある。利用者は、コンピュータが持っているハードウェア資源を利用したい時、直接コンピュータの中に入り込むことはできない。そこで、代理人としてプロセスを作る。プロセスは、利用者の代わりに、コンピュータの中で活動する。

◆プロセスの操作

- 生成（作成）
- 消滅（削除、終了と強制終了）
- 切り替え
- (プロセス間通信)

◆プロセスの保護

あるプロセスが、他のプロセスやOSのメモリ内容を破壊しないようにする。

◆プロセスの生成・消滅

プロセスを作るには、プログラムを実行する。WindowsやMacintoshでは、プログラムが入っているファイルのアイコンをダブルクリックする。Unixでは、プログラムが保存されているファイルの名前をキーボードで打ち込む。

プロセスを消す(殺す)には、実行しているプログラム(プロセス)の終了の手順を行う。

ダブルクリックで、「画面が変わる」と思うか、「プロセスがつくられる」と思うか。

◆プロセスの強制終了

時にプロセスを強制終了する必要が出てくる。

Unix

kill コマンド、^C

Windows

Alt+Control+Delete キーを押し、タスクマネージャを実行する

MacOS

Command+Option+Escape

■世界OS

新城の最近の研究成果。

SF (Science Fiction) のパラレルワールド(parallel world, parallel universe)を、オペレーティング・システムのレベルで実現する。

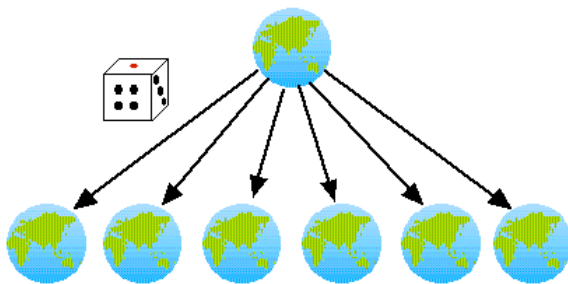


図 SFのパラレルワールド

SFでは、時々別の世界にジャンプしたり人が入れ替わったりする。

◆Undo できるOS

Undo とは、do の効果を打ち消して、もともと do しなかったことにする。(do not とは違う。)

世界OSでは、ファイルの内容を変更すると、2つの世界ができる。

- 変更された世界
- 変更されていない世界

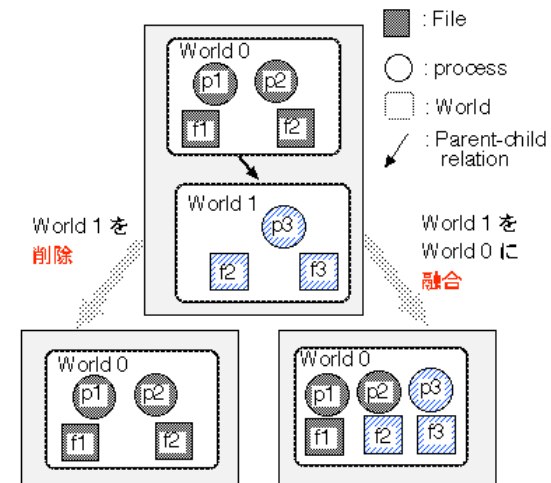


図 世界OSで使える世界の操作

実際には、先に世界を作り、その中でファイルの内容を書き換える。うまくいったら、融合する。失敗すれば削除して、変更の結果を無効にする。

普通の仮想計算機では、融合はできない。継承のコストが大きい。

◆パラレルワールドの利用

- クラッキング、攻撃による破壊からの迅速な回復。攻撃される可能性があるプログラム、怪しいプログラムを子世界で実行して、破壊されたら削除して回復させる。
- 投機的処理/楽観的処理。実行すると命じられる前に先行的に実行する。
- 複数のPCでのファイル内容の統一。複数の世界の内容を比較して更新された部分を反映させる。

Last updated: 2006/10/25 20:48:41

[Yasushi Shinjo](mailto:Yasushi.Shinjo@cs.tsukuba.ac.jp) / <yas @ cs.tsukuba.ac.jp>