

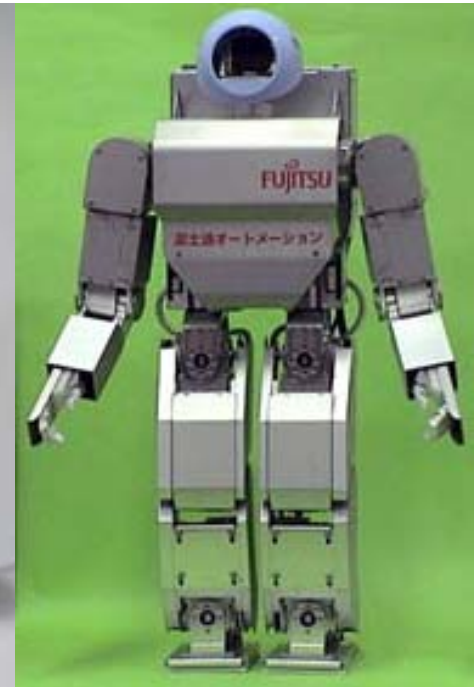
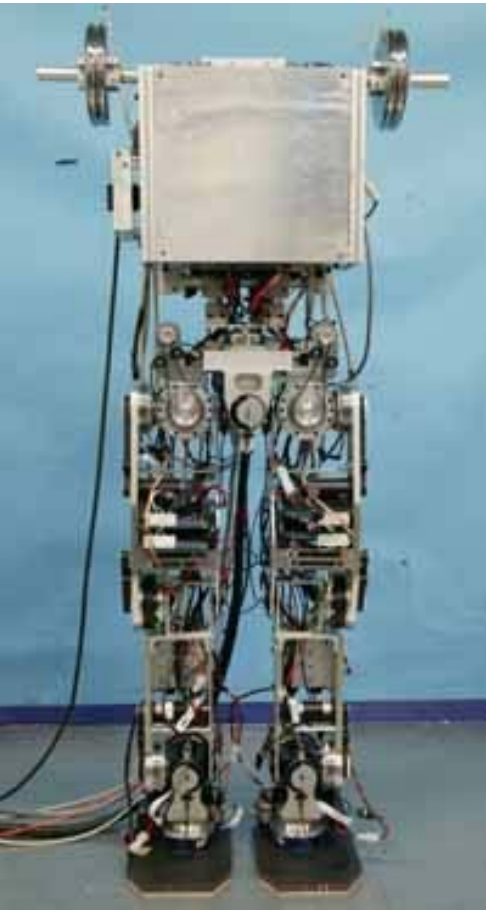
特別講演1

ヒューマノイドロボット動作生成 NueROMAのシステム

2004年6月5日

富士通研究所 永嶋史朗

ヒューマノイドロボット

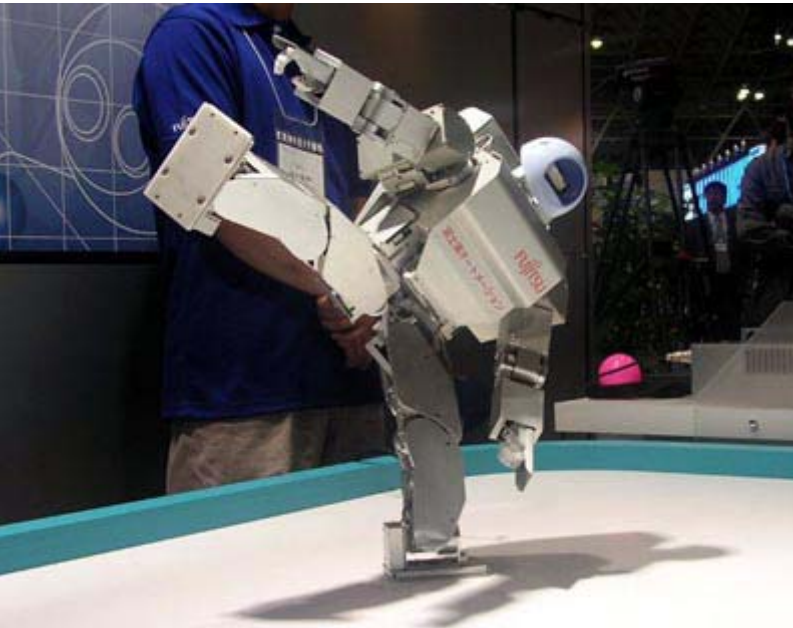


研究用ロボット・エンターテインメントロボット

人間と協調する実用ロボットは、まだまだ先？！ THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

HOAP

研究用ヒューマノイドロボット HOAP - 1 HOAP - 2

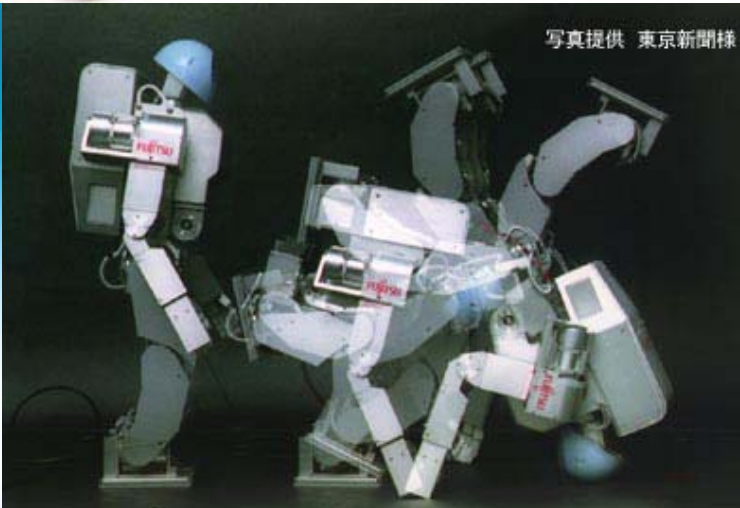


20自由度, 25自由度

モータサーボ系(位置制御、速度制御、
電流制御)

各種センサ(加速度センサ、角速度セン
サ、足底圧力センサ、2眼カメラ)

CPU・バッテリー搭載



FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

ニューロによる人間型ロボット制御制御の研究

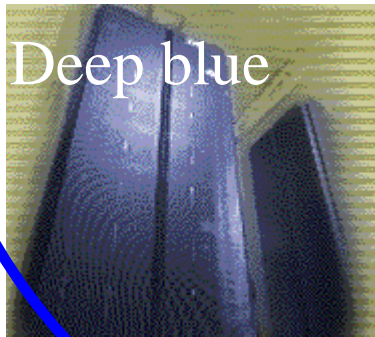
ある程度の蓄積がある

今後重要となる

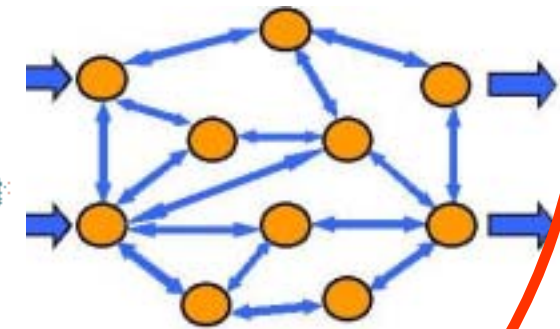
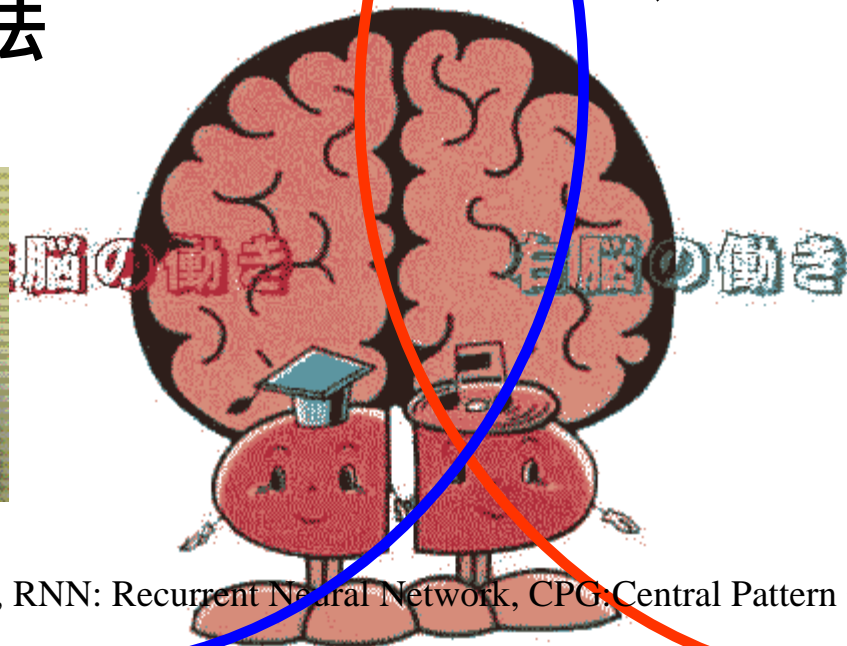
記号処理, 手続き言語, ZMP法
等の論理的方式

人によるプログラミング
が必要な手法

RNN, CPG法等の感覚的方式
自動学習可能な手法
従来、解析方法なし



Deep blue



ZMP: Zero Momentum Point , RNN: Recurrent Neural Network, CPG: Central Pattern Generator



THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

生き物

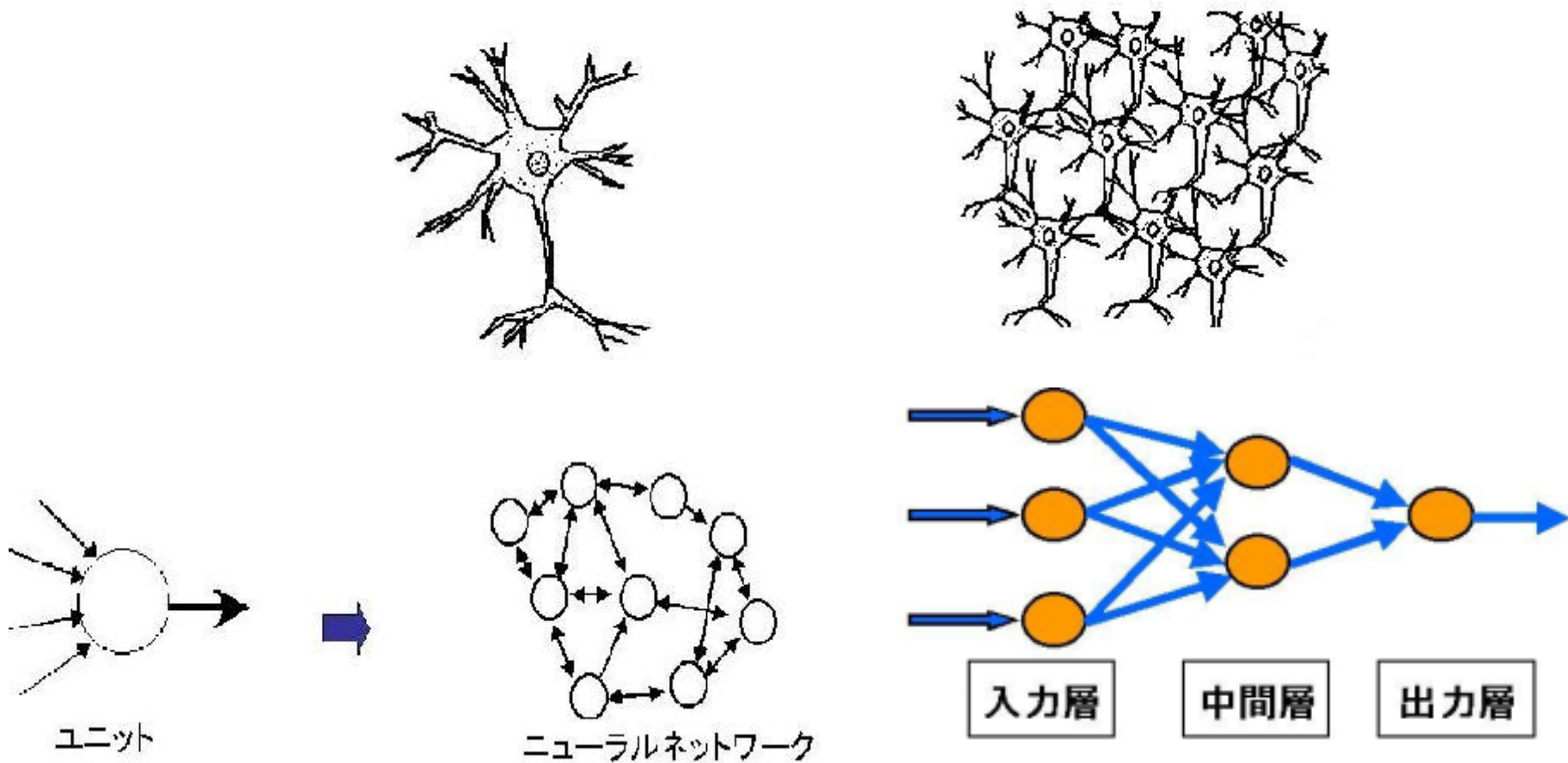
生物に学んで、何かできないか？

生物は、環境に適用して、様々の処理をしている！



- ・身体性認知科学(ロルフ・クリスチャン)
動ける体がなければ知能は生まれない
- ・アフォーダンス(ギブソン)
知能は、“環境の中に埋め込まれている”と考える
- ・ミラーニューロン(サルによる実験)
脳内では、運動と認知の間には強い関連がある
- ・リカレントニューラルネットワーク(数学モデル)
“時”が刻めるニューラルネットワークモデル
- ・神経振動子(ミミズ等、生物生理学)
無入力でも活動する神経回路

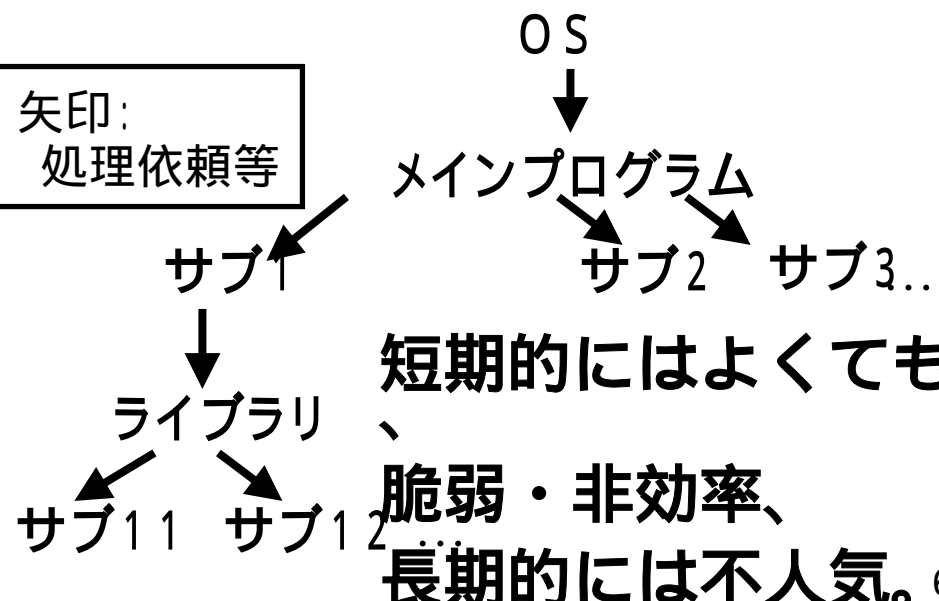
生物規範制御



システムの構造 一般ソフトウェアでは？

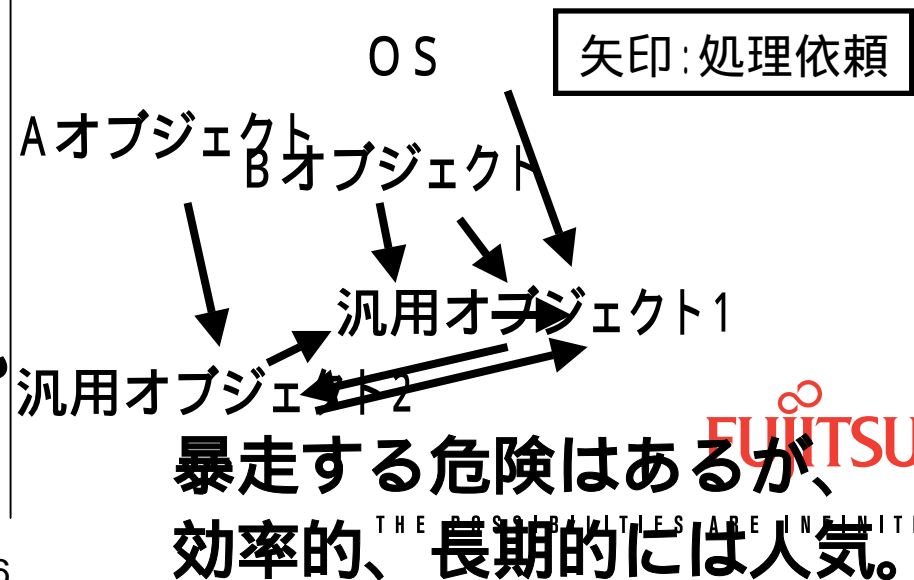
構造化プログラム

各モジュールがきれいに階層化された秩序正しい構造



オブジェクト指向

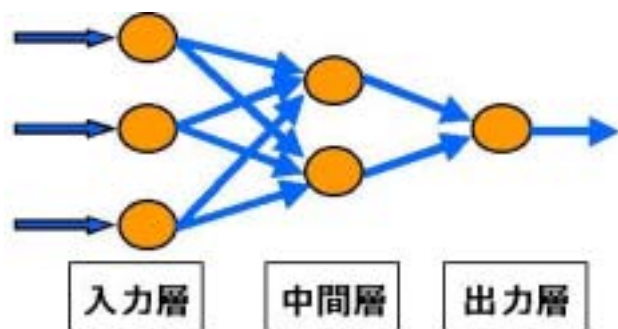
各モジュールが相互に関連し、一見無秩序な構造



人工ニューロネットワークの2つの方式

階層化ニューロ

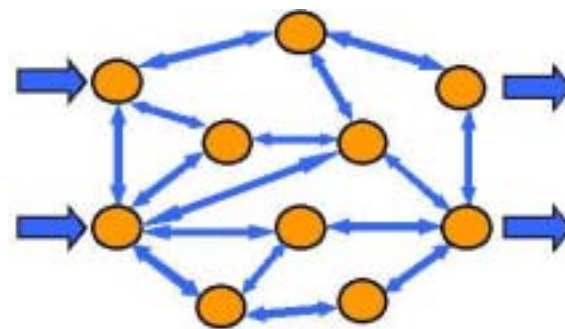
各ニューロンがきれいに
階層化された秩序正しい
構造



教師付・教師なし学習など
解析が可能

リカレントニューロ

各ニューロンが相互に関
連し、一見無秩序な構造



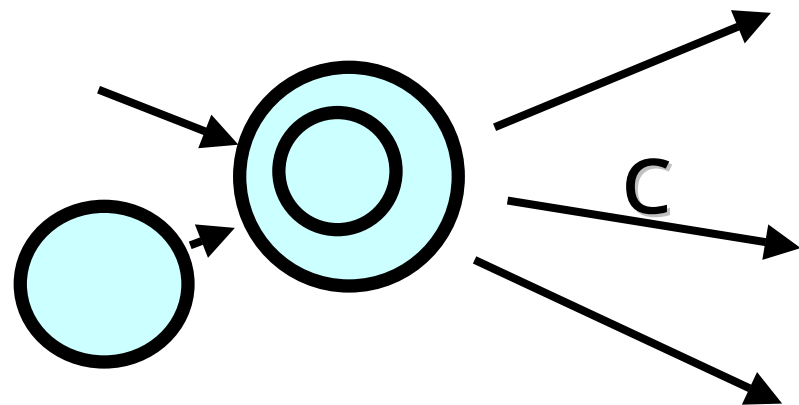
今のところ、決定的な
手法論はない

FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

ニューラルネットワーク

- システム構造シンプル！
- インターフェース一定！
- NNセンサ処理とのシームレスな関係！
- 学習 = 未知係数を求めることに帰着！



富士通の開発した RNNの特徴

- 可解性向上！
- 学習速度向上！
- 拡張性向上！

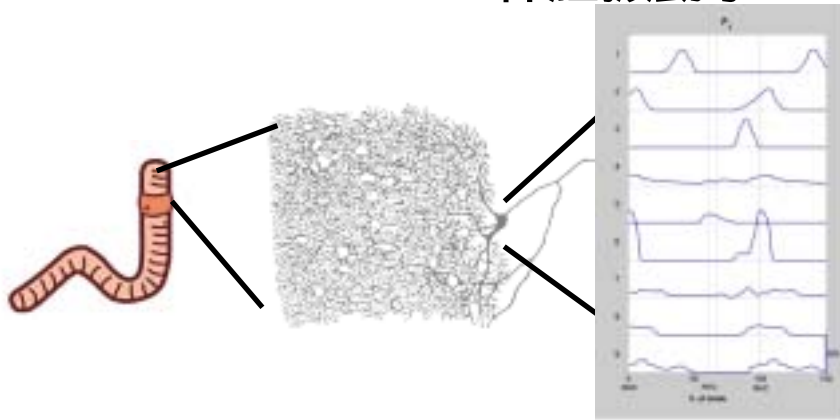
- ニューラルネットワーク (NN)
- リカレントニューラル
ネットワーク (RNN)
- CPG
そして
- 自動学習

CPGは非線形か？

CPG (Central Pattern Generator)

自発的に振動する
神経振動子

みみず



従来のCPG



非線形振動子

シグモイド？

遅い学習！

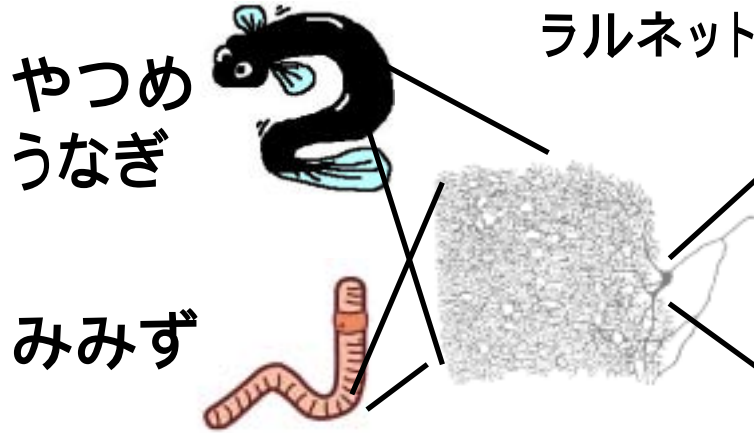
FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

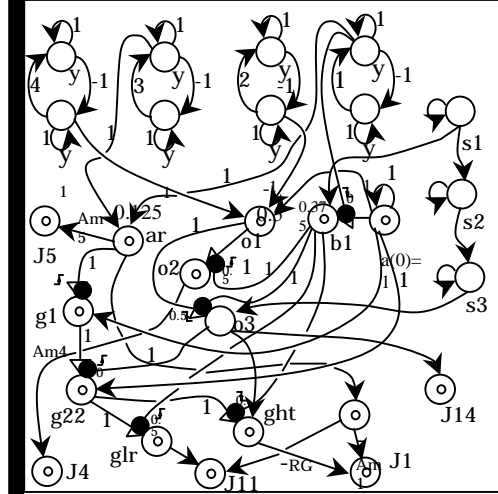
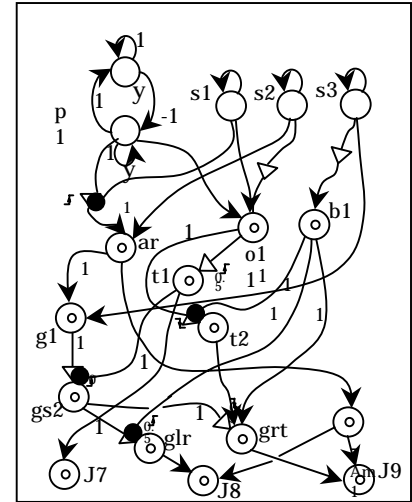
CPG / NP法

CPG (Central Pattern Generator)

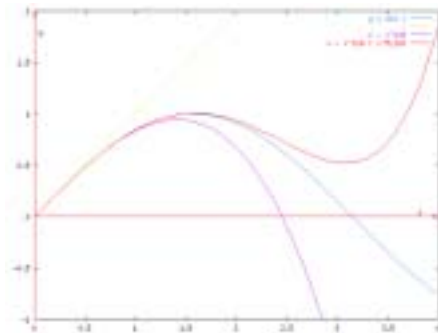
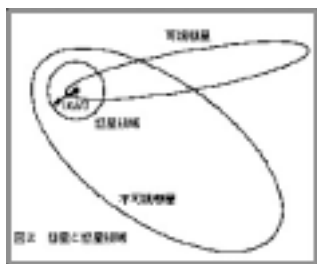
最新の神経科学の成果 自発的に振動するニューラルネットワークの発見



新しい工学的ニューラルネットワークモデル化



NP (Numerical Perturbation)
非線形方程式の近似解法



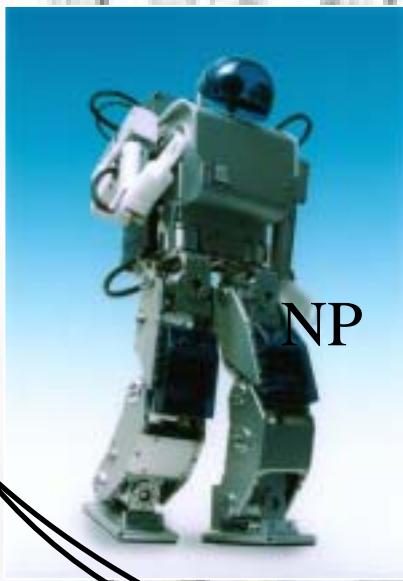
戦略として

CPG/NP

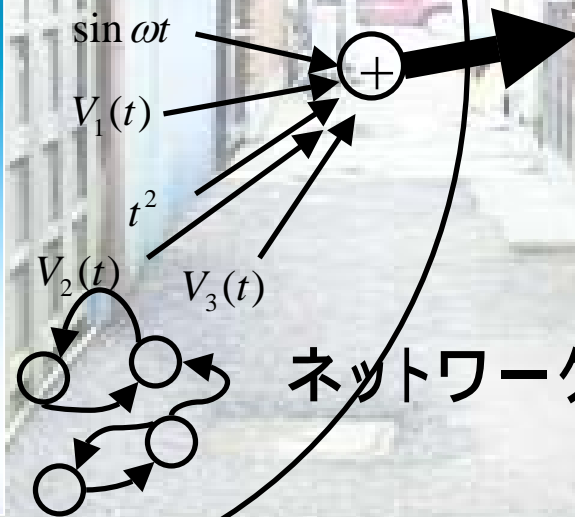
複雑なロボット環境

ニューラルネットワークで生成される簡単な関数系の和

未知の非線形方程式系



NP

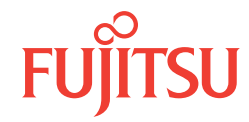


$$\frac{d^2 u_1}{dt^2} u_0 = \alpha u_1 + v_2 \frac{dV_1}{dt} \sum V_i$$



ネットワークの追加 学習

ニューラルネットワーク



THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

学習の例



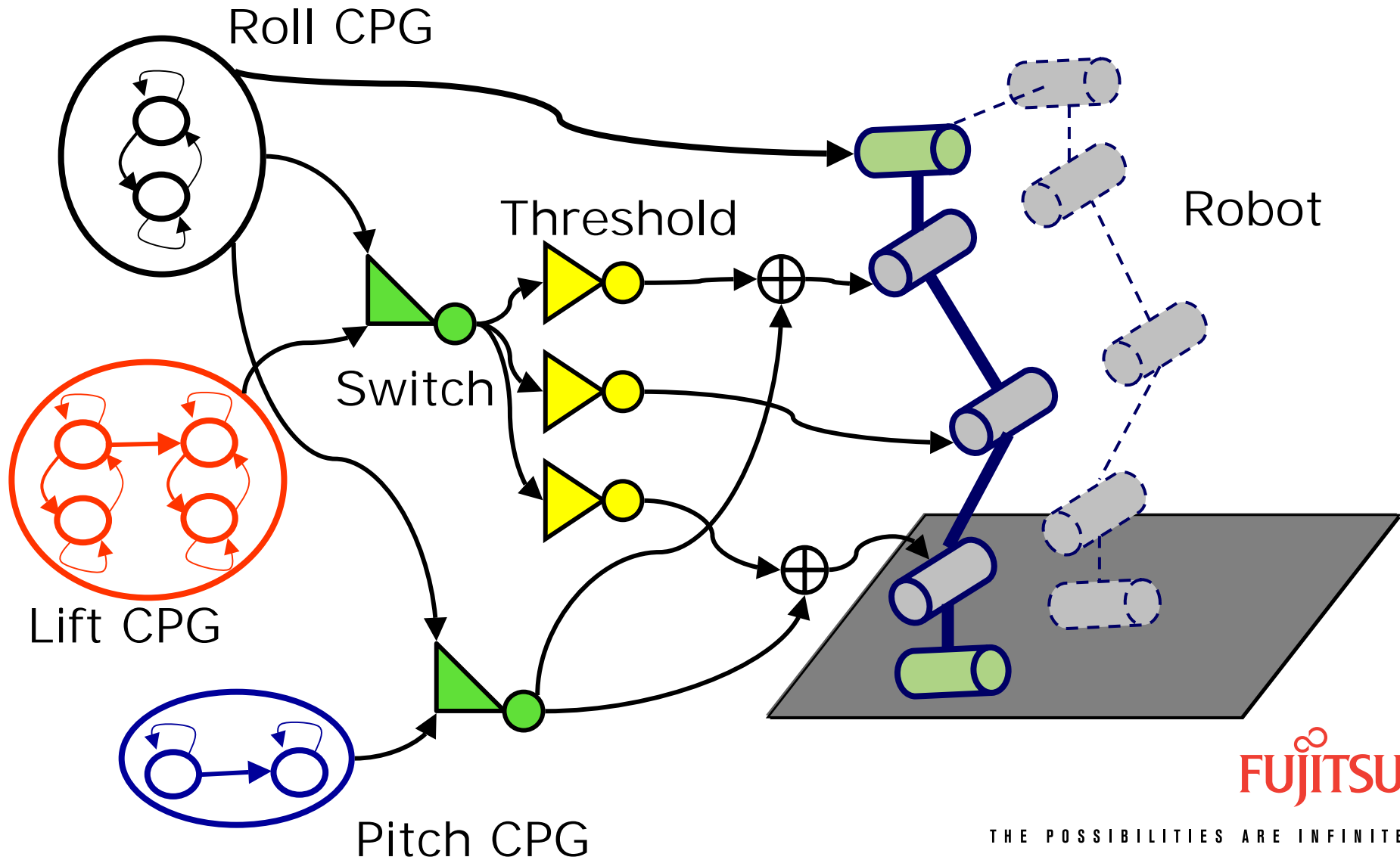
学習初期歩行運動

学習中盤の歩行運動



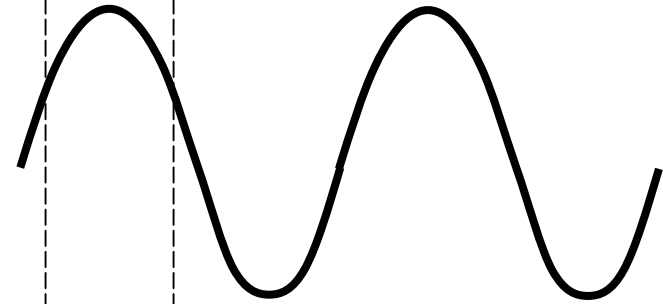
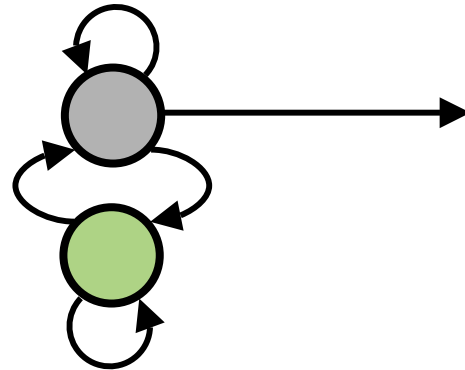
階段昇降可能な洗練された歩行運動

HOAP RNN 回路概要

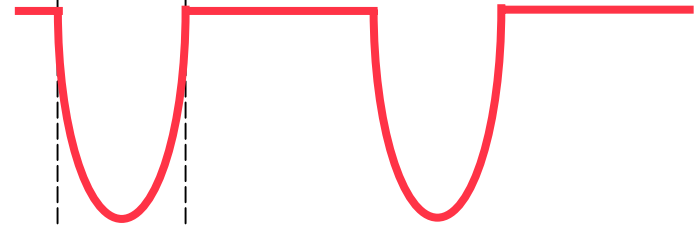
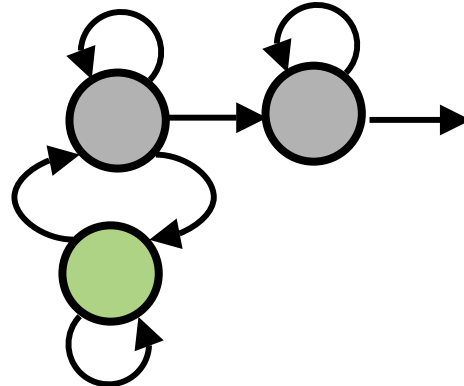


最低次数の歩行用CPG

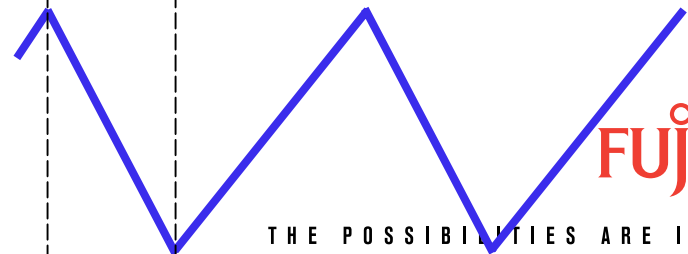
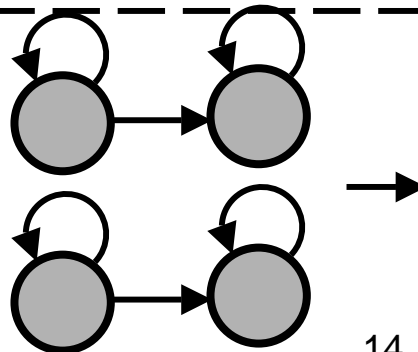
Roll
CPG



Lift
CPG

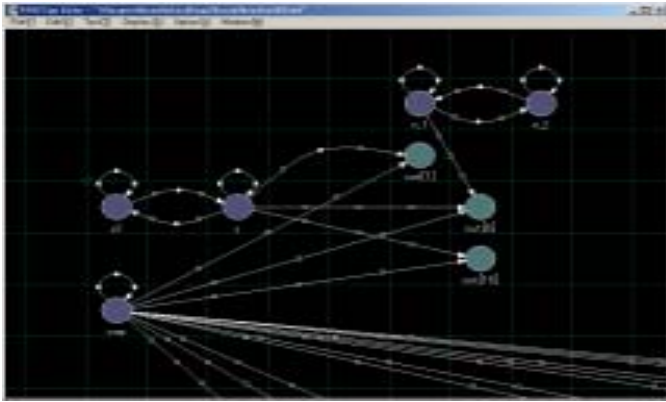


Pitch
CPG

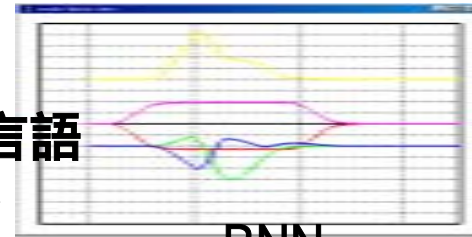


NueROMA (RNN開発環境)

RNN言語グラフィカルエディタ



RNN言語

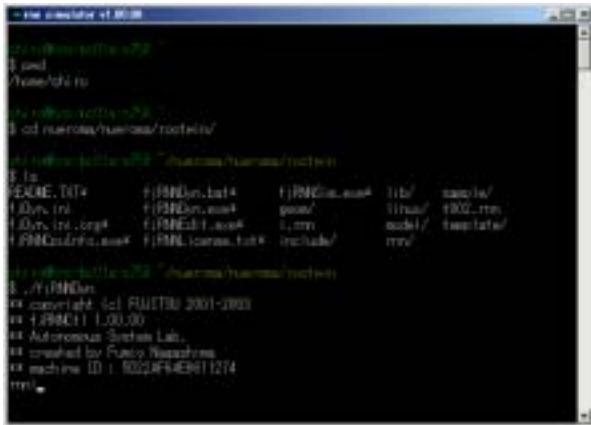


RNN
シミュレータ



ダイナミクス
シミュレータ

RNN言語テキストエディタ



RNN言語



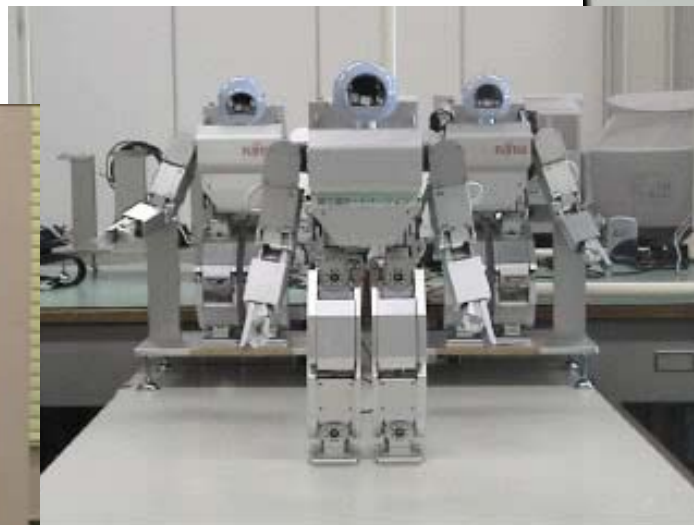
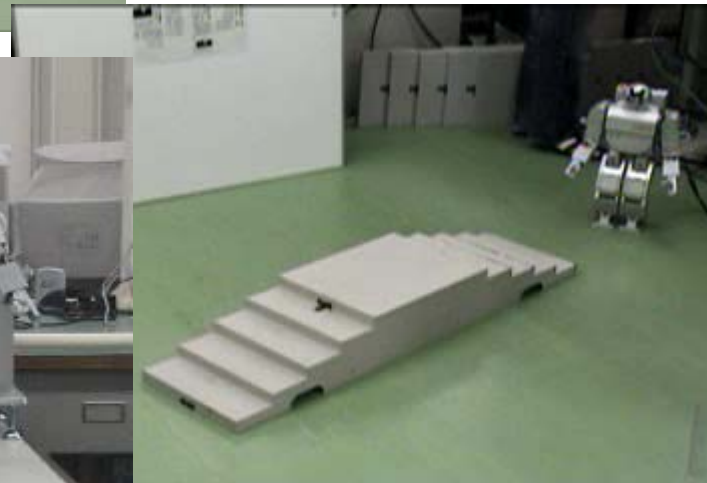
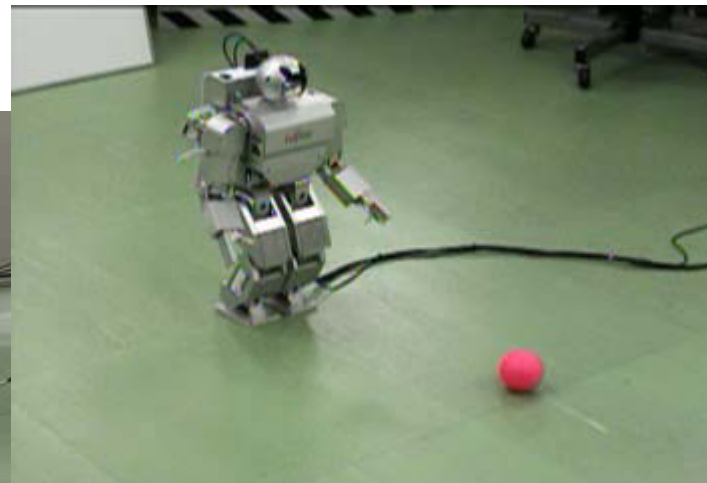
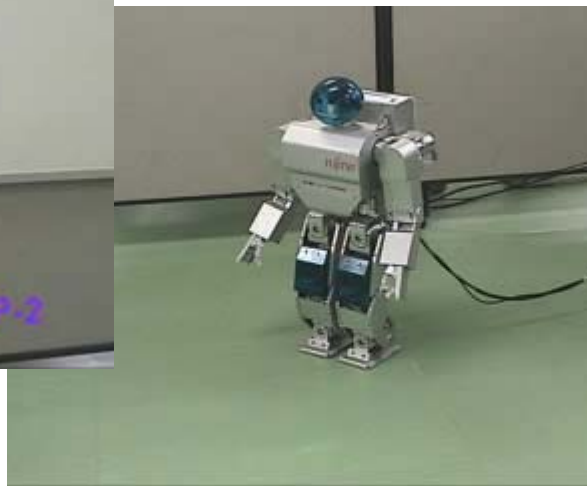
RNN
エグゼキュータ



ヒューマノイドロボット



本システムによる動作例とその作業画面



fujitsu

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

ニューラルネットワーク言語 モデル

1. ニューロンの出力は、入力に対してアナログ遅れを持つ
2. ニューロンの出力は減衰・増幅されて他のニューロンの入力となる
3. ニューロンは複数の入力を受け付ける
4. ニューロンは、ニューロン間の結合に影響を与えることができる

RNN言語

RNN言語

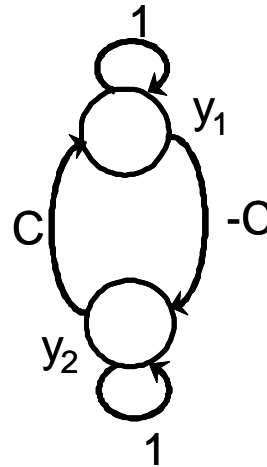
ネットワーク表示

数学的表記

```

circuit cir1 {
  const C = 1.0;
  var y1(0.1) = 0.0;
  var y2(0.1) = 1.0;
  y1 := 1.0 * y1 + C * y2;
  y2 := 1.0 * y2 + -C * y1;
}

```



$$\varepsilon \frac{dy_1}{dt} + y_1 = 1.0 \times y_1 + C y_2$$

$$\varepsilon \frac{dy_2}{dt} + y_2 = 1.0 \times y_2 - C y_1$$

$$\varepsilon^2 \frac{d^2 y_1}{dt^2} + C^2 y_1 = 0$$

$$y_1 = A_m \sin(\omega t + \phi)$$

$$\text{where } \omega = C / \varepsilon$$

- ・汎用的リカレントニューラルネットワーク構築言語
- ・CPG / NPの実装
- ・ニューラルネットワーク構造の論理的な構築可能

夢をかたちに