

計算モデル特論

プロセス計算



国立情報学研究所

佐藤一郎

E-mail: ichiro@nii.ac.jp

Ichiro Satoh

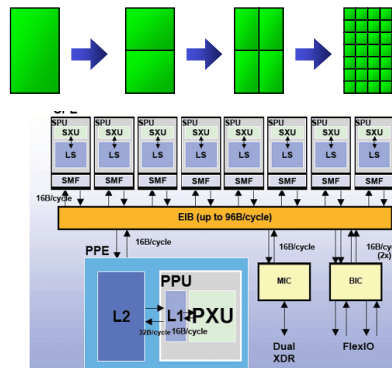
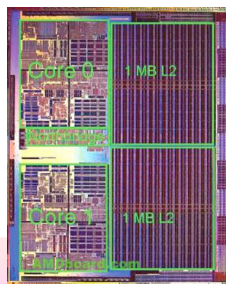
並行・並列・分散計算

- 逐次計算(Sequential Computing)
 - 一つのタスクだけを処理する
- 並行計算(Concurrency Computing)
 - 複数のタスクを擬似的に同時に処理が進んでいるように見せかける
- 並列計算(Parallel Computing)
 - 複数のタスクを同時に処理を進める
- 分散計算(Distributed Computing)
 - 複数のコンピュータが通信をしながら処理を進める

Ichiro Satoh

並列システム化

マルチコアプロセッサの普及



並列・分散システムの方が普通

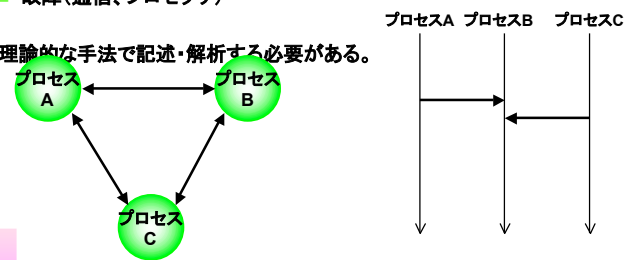
- 社会システム
 - 人・組織の相互作用によるシステム
- 多細胞生物
 - 細胞同士の協調動作システム

Ichiro Satoh

並列・分散計算は難しい

- 動作箇所が複数
- 非決定性
- デッドロックまたはライブロックの可能性
- 故障(通信、プロセッサ)

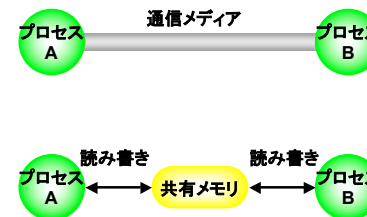
理論的な手法で記述・解析する必要がある。



Ichiro Satoh

通信システムは難しい

- 送信側と受信側は独立に動作
- 通信プロトコルの接続可能性



Ichiro Satoh

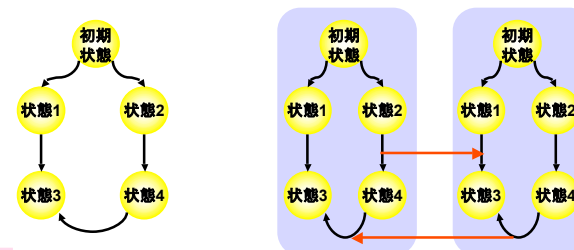
抽象化

- 着目すべき性質に特化してシステムをモデル化する
- それ以外の性質は無視する → 抽象化

Ichiro Satoh

オートマトンの並列化

手続き型プログラムは状態遷移図によるモデル化が容易
状態機械(オートマトン)は逐次動作



Ichiro Satoh

▶ 計算モデル

数学的に定義された記号でシステムを表す

- システムは複雑、解釈も多様化
- 記号によりシンプルにシステムを定義
- 数学的な手法を使ってシステム動作を解析

ただし、実システムと記号は違う。

- 実システムの何を表現しているのか、何を表現していないのか
- 何持たさない(O)、何も引かない(x)

Ichiro Satoh

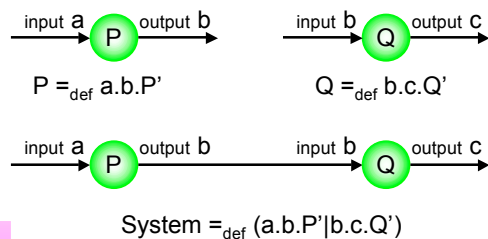
▶ 形式的記述・解析

- プログラム
- ペトリネット
- プロセス計算(プロセス代数)
- 時相論理

Ichiro Satoh

▶ プロセス計算

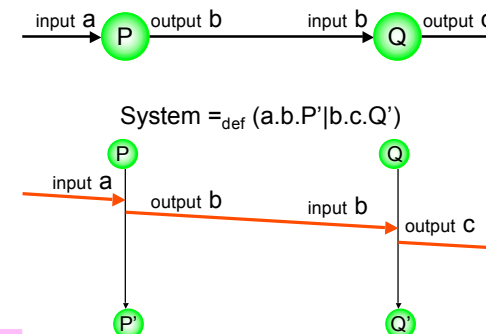
- 通信を状態遷移アクションとするオートマトン
- 同期通信を中心に表現
- 手続き型言語に近い記述性
- 代数的な記述式の関係



Ichiro Satoh

▶ 記述例

- プロセス式=オートマトン+通信手順+プロセス合成



Ichiro Satoh

▶ プロセス計算とは

並行・通信などの処理を含む動作を記述する形式系

代数的規則による定義

$$\begin{aligned} a+b &= b+a & a+(b+c) &= (a+b)+c & (a+b)c &= ac+ab \\ a+a &= a & a(bc) &= a(bc) \end{aligned}$$

状態遷移規則による定義

$$\begin{array}{c} a.P \xrightarrow{a} P \\ \frac{P \xrightarrow{a} P'}{P+Q \xrightarrow{a} P'} \quad \frac{P \xrightarrow{a} P'}{P|Q \xrightarrow{a} P'|Q} \end{array}$$

プロセス計算体系の例: CCS、ACP、CSP
プロセス計算をプロセス代数と呼ぶことも多い

Ichiro Satoh

▶ 構造的操作意味論

構文要素に応じて意味を定式化

意味論

- 操作的意味論 計算動作を数学的に定式化
- 代数的意味論 表現(プログラム)を代数構造に写像
- 公理的意味論 論理式で計算前と計算後の状態を表現

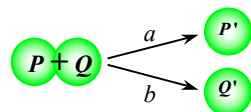
Ichiro Satoh

▶ ラベル付き状態遷移システム

基本式の操作意味論

$$\begin{array}{l} P ::= 0 \\ \quad | \alpha.P \\ \quad | P+Q \end{array}$$

$$a.P \xrightarrow{a} P$$



$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P+Q \xrightarrow{\alpha} P'}$$

$$\frac{Q \xrightarrow{\alpha} Q'}{P+Q \xrightarrow{\alpha} Q'}$$

Ichiro Satoh

▶ CCS (Calculus of Communicating Systems)

CCSの構文

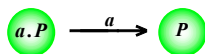
$P ::= 0$	停止プロセス
$ a.P$	同期入力 (通信入力 a を受信後、 P となる)
$ \bar{a}.P$	同期出力 (通信出力 a を送信後、 P となる)
$ \tau.P$	内部計算 (内部計算を実行後、 P となる)
$ P+Q$	選択動作 (P または Q となる)
$ P Q$	並行動作 (P と Q が並行に動作できる)
$ P \setminus L$	事象制限 (L に含まれる事象名の外部観測禁止)
$ A$	プロセス定義 ($A=P$ となるとき、 A を P で置換)

Ichiro Satoh

CCSの遷移

ラベル付き遷移システム(構造的操作意味論)

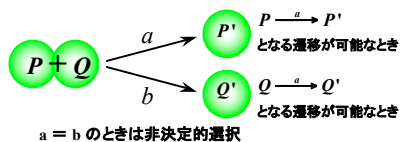
$$\alpha.P \xrightarrow{\alpha} P$$



$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P + Q \xrightarrow{\alpha} P'}$$

$$\frac{Q \xrightarrow{\alpha} Q'}{P + Q \xrightarrow{\alpha} Q'}$$

$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P.L \xrightarrow{\alpha} P'.L} (\alpha \notin (L \cup \bar{L}))$$



Ichiro Satoh

CCSの遷移

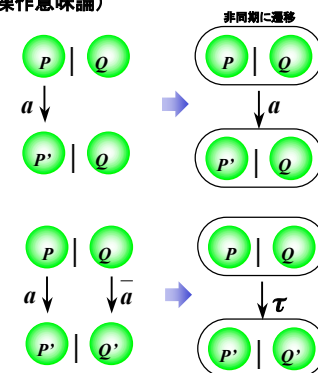
ラベル付き遷移システム(構造的操作意味論)

$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P|Q \xrightarrow{\alpha} P'|Q}$$

$$\frac{Q \xrightarrow{\alpha} Q'}{P|Q \xrightarrow{\alpha} P|Q'}$$

$$\frac{P \xrightarrow{a} P' \quad Q \xrightarrow{\bar{a}} Q'}{P|Q \xrightarrow{\tau} P'|Q'}$$

一対一の同期通信



Ichiro Satoh

CCSの動作式例

動作式の例

$$a.P + b.Q|\bar{a}.R \xrightarrow{\tau} P|R$$

$$a.P + b.Q|\bar{a}.R \xrightarrow{a} P|\bar{a}.R$$

$$a.P + b.Q|\bar{a}.R \xrightarrow{\bar{a}} a.P + b.P|R$$

$$a.P + b.Q|\bar{a}.R \xrightarrow{b} Q|\bar{a}.R$$

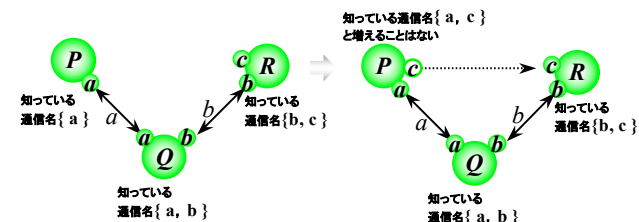
$$(a.P + b.Q|\bar{a}.R) \setminus \{a, b\} \xrightarrow{\tau} (P|R) \setminus \{a, b\}$$

Ichiro Satoh

CCSの問題点

通信名(ポート名)は静的に決定されている

→ 知らない通信名を介して通信ができない



CCSでは

ポインタ、オブジェクト識別子、動的にリンクが変化する通信ネットワークを含むシステムが記述できない

Ichiro Satoh