

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

概要

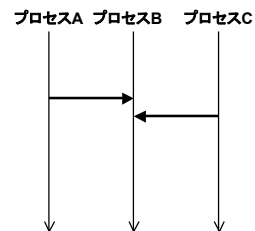
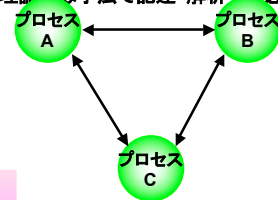
1. プロセス計算
2. CCS
3. π 計算

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)

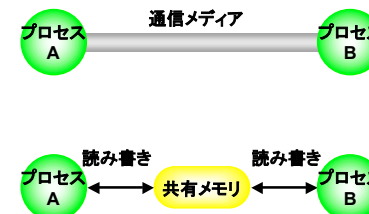
理論的な手法で記述・解析する必要がある。



Ichiro Satoh

通信システムは難しい

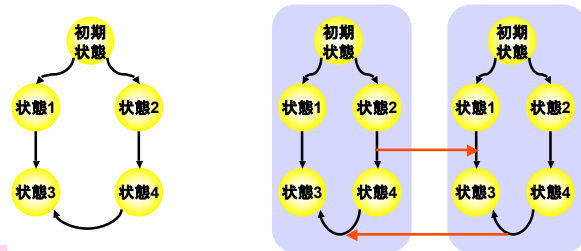
- 送信側と受信側は独立に動作
- 通信プロトコルの接続可能性



Ichiro Satoh

▶ 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

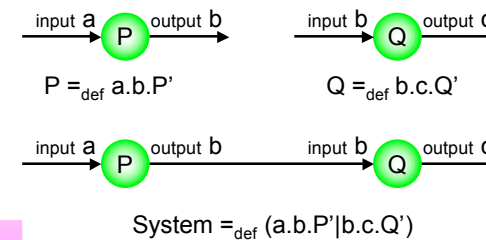
▶ 形式的記述・解析

- 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

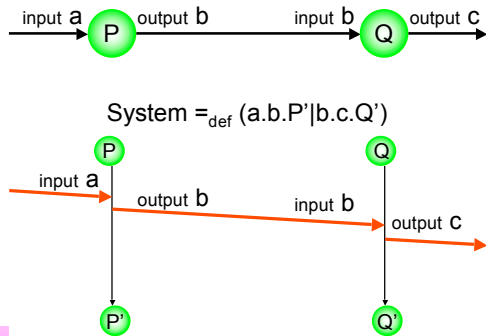
- 通信を状態遷移アクションとするオートマトン
- 同期通信を中心に表現
- 手続き型言語に近い記述性
- 代数的な記述式の関係



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

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

状態遷移規則による定義

$$\begin{aligned} a.P &\xrightarrow{a} P & \frac{P \xrightarrow{a} P'}{P+Q \xrightarrow{a} P'} & \frac{P \xrightarrow{a} P'}{P|Q \xrightarrow{a} P'|Q} \end{aligned}$$

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

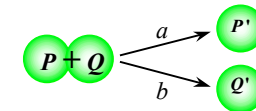
- 操作的意味論計算動作を数学的に定式化
- 代数的意味論表現(プログラム)を代数構造に写像
- 公理的意味論論理式で計算前と計算後の状態を表現

Ichiro Satoh

ラベル付き状態遷移システム

基本式の操作意味論

$$\begin{aligned} P &:= 0 \\ &| \alpha.P \\ &| P+Q \end{aligned}$$



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

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

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

Ichiro Satoh

CCS (Calculus of Communicating Systems)

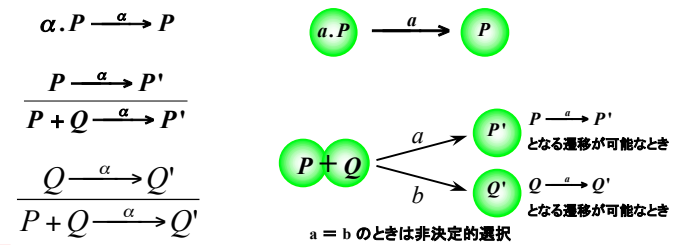
CCSの構文

$P ::= 0$	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

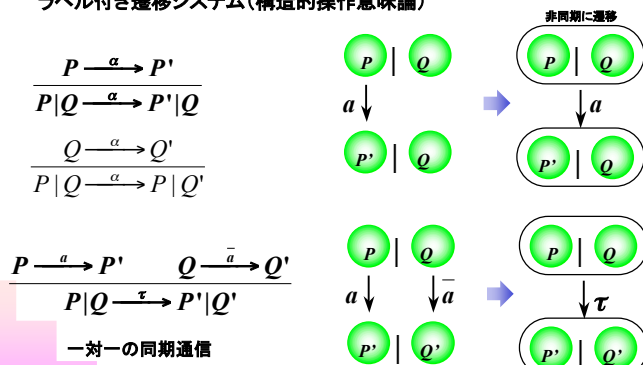
ラベル付き遷移システム (構造的な操作意味論)



Ichiro Satoh

CCSの遷移

ラベル付き遷移システム (構造的な操作意味論)



Ichiro Satoh

CCSの動作式例

動作式の例

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

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

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

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

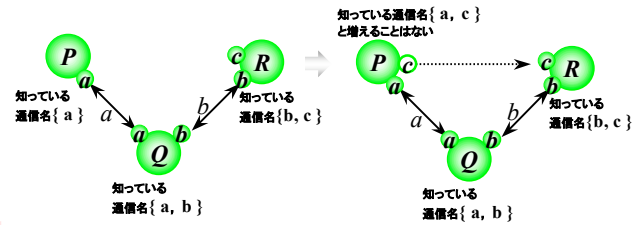
$$(a.P + b.Q|\bar{a}.R) \setminus \{a, b\} \xrightarrow{\tau} (P|R) \setminus \{a, b\}$$

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