

モバイルエージェント

国立情報学研究所 /
お茶の水女子大学理学部情報科学科 /
科学技術振興事業団さきがけ研究21

佐藤一郎

Email: ichiro@nii.ac.jp

Ichiro Satoh

研究概要

- 計算理論:
プロセス計算(代数)、時相論理他
- プログラミング言語:
プログラム意味論、コンパイラ最適化の形式化
- 分散オブジェクト:
モバイルオブジェクト(エージェント)、オブジェクトリクエストブローカ
- ネットワーク:
アプリケーションレベルネットワーク、ネーミングサービス

Ichiro Satoh

講演概要

- 1 モバイルエージェントとは
- 2 モバイルエージェントのアプリケーション
- 3 モバイルエージェントシステム

Ichiro Satoh

謝辞: モバイルエージェント関連研究助成

研究助成 (2001年度)

- 科学技術振興事業団・さきがけ研究21「アクティブネットワーク」(2002年まで)
- 科研費基盤C「移動オブジェクトのため分散トランザクション機構の設計と実装」(2002年まで)
- TA0・創造的情報通信システム研究事業「PDA向けエージェントシステム」
- 人工知能研究財団「モバイルエージェントのタスク割り当て」, 他

研究助成 (1999年~2000年分)

- 日本学術振興会・未来開拓学術研究推進事業「知能情報・高度情報処理分野エージェント指向コンピューティング」(コメンバ)
- IPA・独創的先進的情報技術に係わる研究開発「組み込みシステム用基盤ソフトウェア」
- IPA・高度情報化支援ソフトウェアシーズ育成事業「高階モバイルエージェントシステムの設計と実装」
- 科研費奨励A「モバイルエージェント間の資源共有アルゴリズム」, 他

Ichiro Satoh

モバイルエージェントとは



分散処理の一手法

コンピュータ間通信

相連なコンピュータ上のプログラムが情報交換・協調動作
分散処理の高度化 コンピュータ間通信の増加・複雑化



- 通信遅延
- 通信トラフィック
- 常時通信接続の経済的負担
- 特定コンピュータに処理が集中
- 耐ネットワーク切断・故障
- 耐コンピュータ停止・故障

遠隔実行

プログラム自体を他のコンピュータに移動させて処理を行う



遠隔実行の種類

コンピュータ間を移動する対象は？

- **モバイルコード**(80s~)
コードだけを移動、移動先では初期状態から再開
例: Applet, HTML, PostScript他
- **プロセスマイグレーション**(85s~90s)
プログラムを実行に必要な情報(コード、実行状態他)を移動
- **モバイルオブジェクト**(90s~)
(静的な)部分プログラム(オブジェクト)のコードと実行状態を移動
- **モバイルエージェント**(95s~)

モバイルエージェント

- エージェントは能動的なプログラム
- 自律的に移動先コンピュータを選択して移動可能
- 移動先では移動前の状態から処理を継続

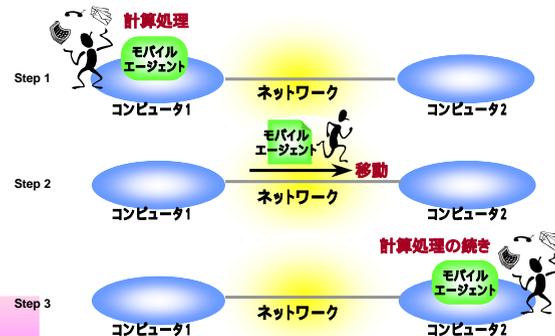


インテリジェント性は要求されない

Ichiro Satoh

エージェント移動

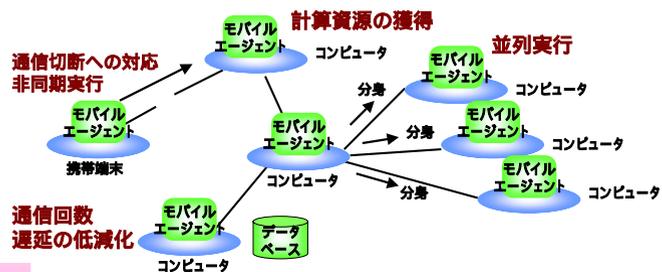
モバイルエージェントはコンピュータ間移動できる



Ichiro Satoh

モバイルエージェントの処理

ネットワーク上を移動しながら処理を行う



Ichiro Satoh

モバイルエージェントの利点

モバイルエージェントはネットワークを移動しながら処理を行う計算実体

- コンピュータ間通信の削減
コンピュータ間通信をコンピュータ内通信に局所化
- 非同期実行:
移動先と移動元は独立
- 通信切断への対応:
移動後は通信切断しても処理可能
- 動的経路変更:
移動先と移動タイミングを自律的に決定・移動
- 並列実行・負荷分散:
複製を生成して並列処理可能
- 通信回数・遅延の低減化:
通信相手側コンピュータに移動・処理

Ichiro Satoh

モバイルエージェントの応用分野

- 分散検索 (Distributed Information Retrieval)
- 負荷分散 (Load Balancing)
- 耐故障性 (Fault Tolerance)
- 遠隔フィルタリング (Remote Filtering)
- プログラムの自動配信・インストール
- ワークフロー・グループウェア (Workflow Management)
- 移動アプリケーション (Teleporting)
- 動的通信ネットワーク (Active Network)
- 遠隔制御・監視 (Monitoring and Notification)
- 電子商取引 (Electronic Commerce)、他

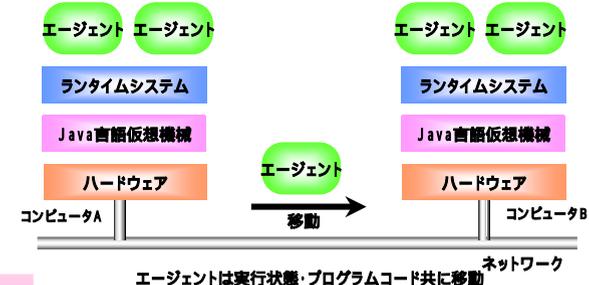
Ichiro Satoh

AgentSpaceシステム

AgentSpace [佐藤, 1997]

Java (JDK1.1以上) 上に実現 (100% pure Java)

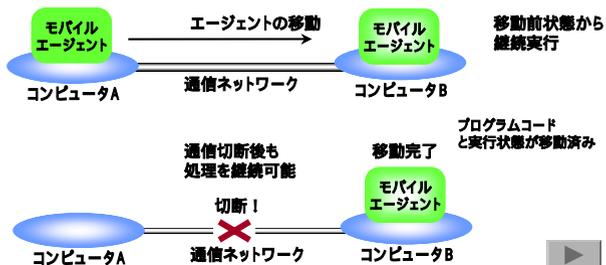
エージェントはJava言語
オブジェクトとして実現



Ichiro Satoh

例: エージェント移動

- エージェントは自律的に移動先(コンピュータ)を選択・移動
- 移動先において移動前の状態から処理を継続



Ichiro Satoh

例: ソフトウェアの配信

ソフトウェアの自動インストール/バージョンアップを実現

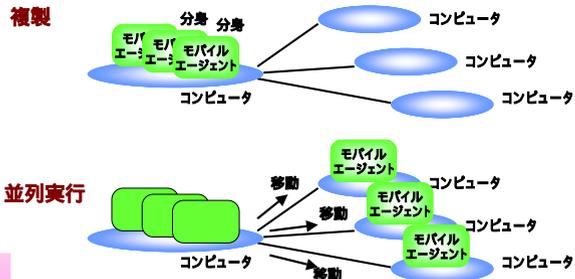
- モバイルエージェントのコード移動性
プログラムの配信
- モバイルエージェントの状態移動性
各種設定の自動化



Ichiro Satoh

例: 並列実行

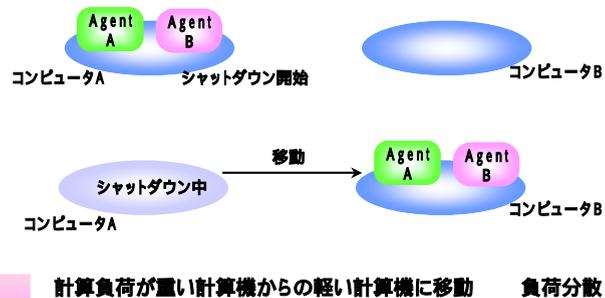
エージェントを複製し、複数コンピュータに移動・実行



Ichiro Satoh

例: 耐故障性・負荷分散

故障・シャットダウン可能性のある計算機からの待避



Ichiro Satoh

例: 分散検索 (Information Retrieval)

相違のコンピュータ上のファイルを検索するには?

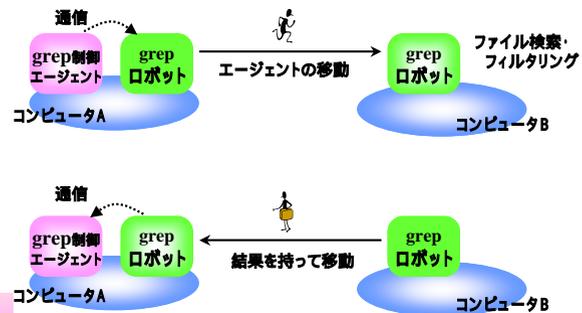
- 検索用プログラム (サーバ) を検索先に用意
- 遠隔端末 (Telnet)
- ファイル転送を通じて検索データをダウンロード



Ichiro Satoh

例: 分散検索 (移動grep)

検索用モバイルエージェントを移動させる



Ichiro Satoh

▶ 例: デスクトップ移動 (Desktop Teleporting)

- データとソフトウェアをモバイルエージェントとして一体化
- デスクトップ環境を他のコンピュータに移動・運用

デスクトップ環境も移動

コンピュータA コンピュータB

ユーザ ユーザの移動 ユーザ

Ichiro Satoh

▶ 例: 通信プロトコルの動的配置・実行

通信相手にエージェントを移動させ、エージェント間で通信
独自プロトコルによる通信を実現
柔軟なQoS制御を実現

プロトコル プロトコル エージェントの移動 プロトコルに対応していません

コンピュータA コンピュータB

エージェントAとBの間で通信 プロトコルの動的配置

プロトコル プロトコル

コンピュータA エージェントAとB間の独自通信プロトコルでもよい コンピュータB

Ichiro Satoh

▶ 例: 電子会議システム

電子会議 (chat) システムでは会話相手側に同様のシステムが必要
chatシステムを会話相手に移動
chatシステム間で通信

chatプログラムなし chatプロトコルに未対応

chat エージェント エージェントの移動

コンピュータA コンピュータB

chat エージェント chat エージェント 独自通信プロトコル

コンピュータA コンピュータB

Ichiro Satoh

▶ 例: ファイル共有サーバ

ファイル共有先にHTTPサーバエージェントを移動

HTTPサーバ エージェントの移動 HTTPサーバなし

HTTPクライアント HTTPサーバ

コンピュータA コンピュータB

ファイルの HTTP通信 ファイルの

リモートアクセス HTTP ローカルアクセス

コンピュータA コンピュータB上の コンピュータB

ファイルアクセスを実現

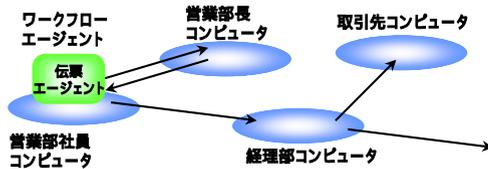
使用例: 移動端末の接続後にファイル共有サーバエージェントを移動
ファイル共有及びデータ差分更新を行う

Ichiro Satoh

例: ワークフローシステム

各ワークフローをモバイルエージェントして実現

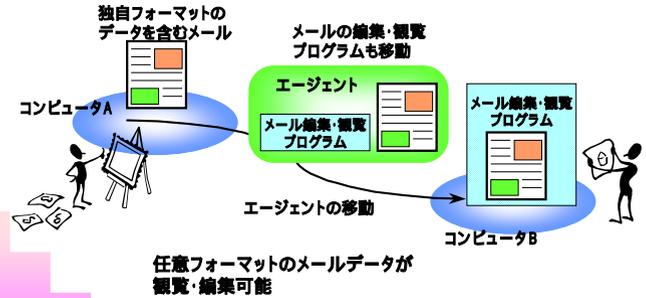
- ワークフローにプログラムを内包
- ワークフロー自身によるフロー経路制御
- ワークフロー内容の選択的アクセス



Ichiro Satoh

例: 電子メール

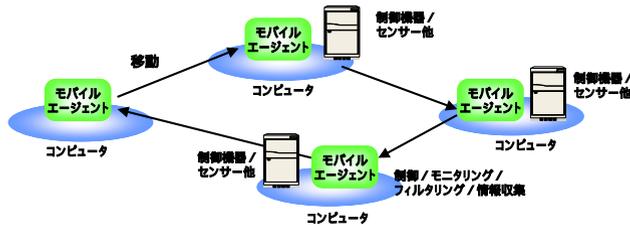
- モバイルエージェントでは電子メールのデータだけでなく編集・閲覧ソフトウェアも転送可能



Ichiro Satoh

ネットワーク管理システム

- ネットワークを巡回して各種機器の設定・情報収集を行う
- 必要に応じて情報をフィルタリングし、次の移動先を決定



プログラム自体を制御・監視対象に移動させるため、詳細な情報を得ることができる

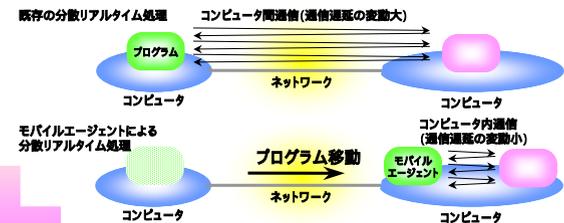
Ichiro Satoh

分散リアルタイム処理

コンピュータ間通信遅延の変動がリアルタイム制約に悪影響を与える

モバイルエージェントによりコンピュータ間通信をコンピュータ内に局所化

- コンピュータ間通信 通信遅延の変動大
- コンピュータ内通信 通信遅延の変動小



Ichiro Satoh

電子商取引

エージェントを電子市場に移動させ商取引を代行させる

- エージェント自身のプログラムにより入札・交渉・取引を自律的に実行



Telescript (1995)など初期のモバイルエージェント研究から提唱されている
 応用例であるが、セキュリティなどの課題が多く残されている。

Ichiro Satoh

簡易分散プログラミング

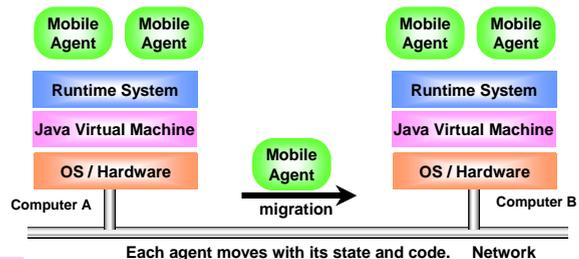
モバイルエージェントにより分散処理ソフトウェアの開発が
 効率化・簡易化できる

- 通信処理を明示的に書く必要がない
- 一種類のプログラムだけでよい
- 遠隔コンピュータへの配置・インストールが簡単

Ichiro Satoh

AgentSpace: システム構成

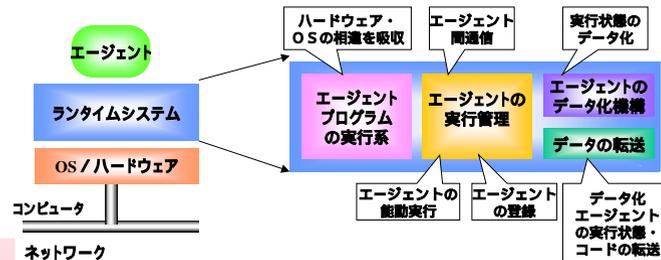
AgentSpace [佐藤, 1997]:
 Java (JDK1.1以上) 上に実現 (100% pure Java)



Ichiro Satoh

AgentSpace: ランタイムシステム

典型的なランタイムシステム (モバイルエージェントの実行システム)



Ichiro Satoh

AgentSpace: 機能

多様な計算環境(携帯端末や無線通信など)に対応したエージェント実行・移動

- **多様なハードウェア・OSに対応**
仮想機械(Java言語VM)によるシステム及びエージェントの実行
システム要求の最小化、ランタイムシステムの動的ロード
- **高速化・セキュリティ**
圧縮及びデータ通信プロトコルへ最適化、暗号化
ケーパビリティによるエージェント間制御
- **多様なアプリケーションの提供**
実際のアプリケーションの開発と評価
Java Applet及びJava Beansのモバイルエージェント化機構
- **エージェント間通信**
同期メソッド呼び出し、非同期メッセージ、フューチャ通信他

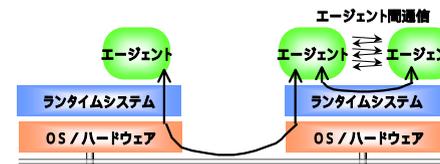
Ichiro Satoh

エージェント間通信(1 / 3)

各エージェントは独立した計算実体として実現される
ランタイムシステムによりエージェント間通信機構を提供

- **非同期メッセージ**
- **同期メソッド呼び出し**
- **フューチャ通信**

多くのシステムでは並行オブジェクト指向計算の通信方式を継承



他のコンピュータとのエージェント間通信はメッセージャーエージェントの移動で代用可能

Ichiro Satoh

エージェント間通信(2 / 3)

非同期メッセージ

一方向メッセージを送信、送信側も処理を継続



同期メソッド呼び出し

他のエージェントのメソッドを呼び出す、送信側はその間停止

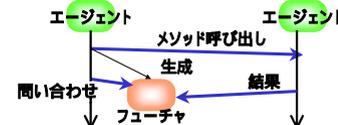


Ichiro Satoh

エージェント間通信(3 / 3)

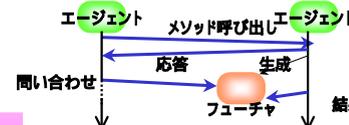
フューチャ通信(1)

送信側は受信用オブジェクト(フューチャ)を生成し、処理を継続



フューチャ通信(2)

受信側は返値通知用オブジェクト(フューチャ)を生成する



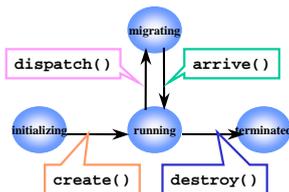
Ichiro Satoh

AgentSpace: イベント駆動エージェント

ランタイムシステムは生成直後、停止直前、移動直前・直後に、エージェントの所定メソッドを呼び出し、リソースの獲得・開放を実現

```

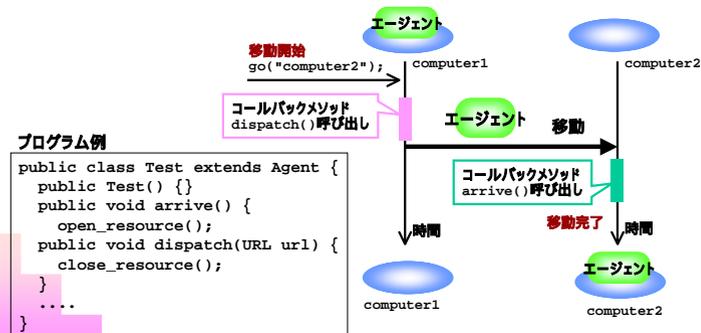
program agent {
  Agent() {}
  void create() {
    go("computer2");
  }
  void dispatch(URL url) {
    close_resource();
  }
  void arrive() {
    open_resource();
  }
  void destroy() {
    close_resource();
  }
}
    
```



Ichiro Satoh

AgentSpace: プログラム例

エージェント移動時のリソース解放及び獲得が必要
生成直後、移動前後、終了直前にイベント通知



Ichiro Satoh

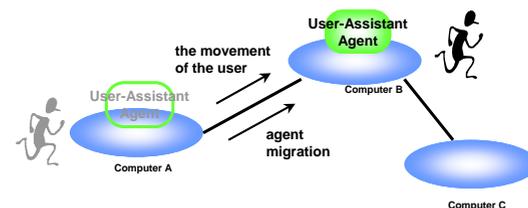
モバイルエージェントの研究

- モバイルエージェントの操作意味論(PDSE'2000)
- 拡張・適応可能なモバイルエージェントシステム(ICDCS'2000)
- エージェント移動プロトコルの動的変更(ICDCS'2001)
- ソフトウェアコンポーネントとしてのモバイルエージェント(MOS'99)
- モバイルエージェントによるモバイル複合ドキュメント(ASA/MA'2000)
- モバイルコンピューティングを前提にしたモバイルエージェント
- モバイルエージェントによる移動ユーザ補助

Ichiro Satoh

インテリジェント空間インタフェース

- ユーザ移動に追跡移動するモバイルエージェントを導入
- 位置依存情報及び各ユーザに特化したサービスを提供
- ユーザの近傍コンピュータに移動し、機器の携帯を不要化



アプリケーション

道案内、ユーザデータの移送、ホームオートメーション他

Ichiro Satoh

▶ インテリジェント空間インターフェース

日本学術振興会未来開拓学研究推進事業
「知能情報・高度情報処理」分野 「エージェント指向コンピューティング」

モバイルエージェントシステムとユーザエージェント

- Java言語によるモバイルエージェント (佐藤一郎・お茶大)

位置依存ディレクトリサービスシステム

- 物理位置とコンピュータ位置間の対応付け (安西祐一郎・慶大)

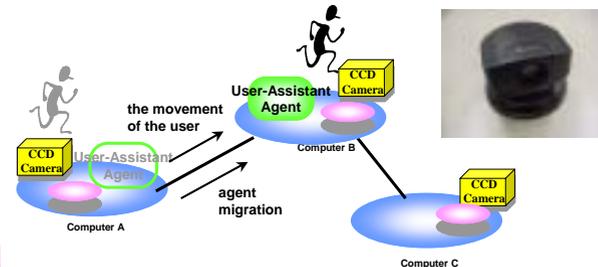
ユーザ位置の特定機構

- 画像処理によるユーザ位置特定 (山本喜一・慶大)

Ichiro Satoh

▶ 移動ユーザ補助エージェント

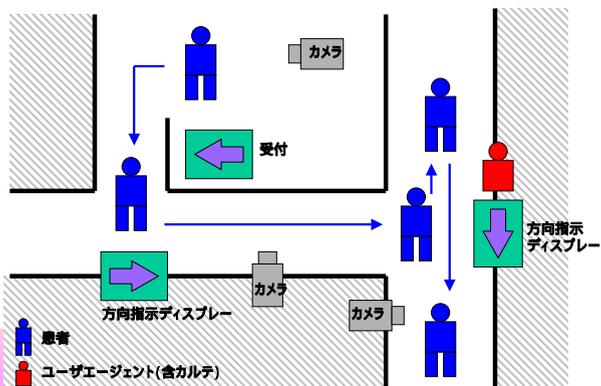
- 画像認識によるユーザ位置を特定 (ユーザは機器を携帯しない)
- ユーザのエージェントをユーザ物理位置に近傍コンピュータに移動させて継続的にサービスを提供 (プライバシーの保護)



デモンストレーション: 病院向けの患者案内システム

Ichiro Satoh

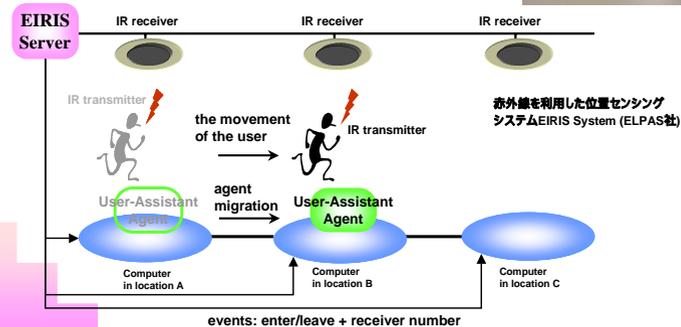
▶ 患者案内システム



Ichiro Satoh

▶ ユーザ追従モバイルエージェント

ユーザ移動に応じてエージェントを近傍コンピュータに移動
赤外線を利用した位置センサによりユーザ位置を特定



Ichiro Satoh

ユーザ追従モバイルエージェント

赤外線を利用した位置センシングシステムEIRIS System (ELPAS社)
受信機の範囲内に送信機が存在するか否かを識別



EIRIS 受信機(右)・送信機(左2つ)



天井に設置されたEIRIS 受信機

Ichiro Satoh

参考文献

基本原理

- 佐藤一郎: モバイルエージェントの動向, 人工知能学会誌, Vol.14, No. 4, pp.598-605, (1999)

既存システムの紹介

- 佐藤一郎: モバイルエージェント, コンピュータソフトウェア, Vol.17, No.2, pp.45-54, (2000)

モバイルエージェントと分散システムの関連

- 佐藤一郎: FAQ: モバイルエージェント, コンピュータソフトウェア, Vol.17, No.1, pp.24-25, (2000)

Ichiro Satoh

論文(査読付き国際会議)

2000年度

- Ichiro Satoh, "MobileSpaces: A Framework for Building Adaptive Distributed Applications using a Hierarchical Mobile Agent System", Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'2000), pp.161-168, IEEE Computer Society, April, (2000).
- Ichiro Satoh, "A Formalism for Hierarchical Mobile Agents", Proceedings of International Symposium on Software Engineering for Parallel and Distributed Systems (PDSE'2000), pp.165-172, IEEE Computer Society, June, (2000).
- Ichiro Satoh, "A Hierarchical Model of Mobile Agents and Its Multimedia Applications", Proceedings of International Workshop on Multimedia Network Systems (MMNS'2000), pp.103-108, IEEE Computer Society, July, (2000).
- Ichiro Satoh, "MobiDoc: A Framework for Building Mobile Compound Documents from Hierarchical Mobile Agents", Proceedings of International Symposium on Agent Systems and Applications/International Symposium on Mobile Agents (ASA/MA'2000), pp.113-125, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1882, Springer, September, (2000).
- Ichiro Satoh, "An Architecture for Next Generation Mobile Agent Infrastructure", International Symposium on Multi-Agent and Mobile Agents in Virtual Organizations and E-Commerce (MAMA'2000), p281-287, ICSC Academic Press, December, (2000).

2001年度

- Ichiro Satoh, "Adaptive Protocols for Agent Migration", Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'2001), pp.711-714, IEEE Computer Society, April, (2001).
- Ichiro Satoh, "Application-Specific Routing for Mobile Agents", to appear in International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking & Parallel/ Distributed Computing, August, (2001)
- Yoshimichi Tanizawa, Ichiro Satoh, Yuichiro Anzai, "A Mobile Agent-Based Framework to Support Personal Mobility", to appear in International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking & Parallel/ Distributed Computing, August, (2001)

Ichiro Satoh

まとめ

- モバイルエージェントの基本動作, アプリケーションを紹介
- モバイルエージェントを利用することにより分散システムが単純化・効率化が可能
- 実世界とリンクしたアプリケーションを提案配布
- AgentSpaceシステムのダウンロード(ソース, ドキュメント)
<http://islab.is.ocha.ac.jp/agent/index.html>

ソフトウェア研究は作って動かし、そして配る

Ichiro Satoh