

センサーネットワークとグリッド



大阪大学
大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻
村田正幸
murata@ist.osaka-u.ac.jp
<http://www.anarg.jp/>

Advanced Network Architecture Research



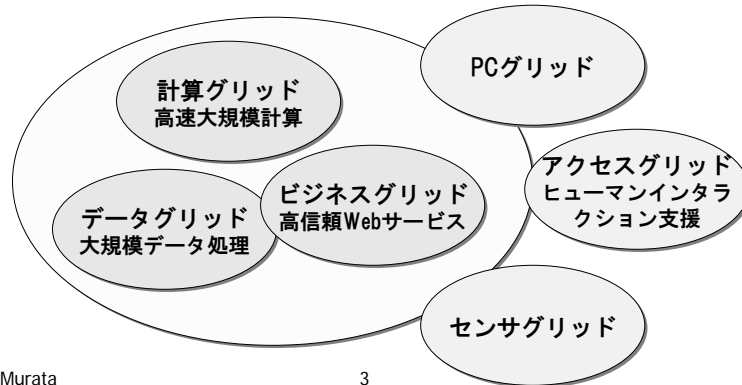
内容

- グリッドコンピューティングとセンサーネットワークの関係
- センサーネットワークの目指す方向性
 - 環境情報の取得と情報処理・制御
 - 安心安全な社会インフラの構築



グリッドコンピューティングの範囲

ネットワークで接続された情報資源を誰でも、いつでも、どこからでも利用可能にする技術



M. Murata

3



グリッドの最近の流れ

- 数値計算から分散資源連携基盤へ
 - 仮想化された「資源」ではなく「サービス」を提供するしくみ
 - ネットワーク上の分散資源をメタコンピュータとして協調動作させる環境の提供
- ユビキタス環境向け
 - 電化製品など様々なアプライアンス間の連携して動作させる
 - 実空間から発生するリアルタイム情報への対応
 - ⇒センサーネットワークとの連携
- 課題
 - センサーから発生する生データ自体には意味がない
 - 流通させる情報は生データか解釈結果か？

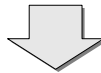
M. Murata

4



センサーネットワークとグリッド

- センサーネットワーク
 - センサー情報をオンデマンドで収集し、利用者に提供したり様々なアプリケーションに活用 (⇒ユビキタスネットワーク)
- P2Pネットワーク
 - 資源発見機構
- グリッド・コンピューティング
 - ネットワークで接続された情報資源を誰でも、いつでも、どこからでも利用可能にする技術 (⇒ユビキタスコンピューティング)

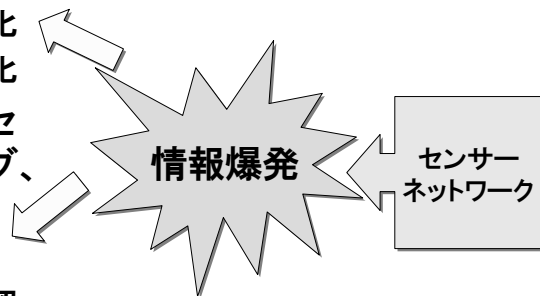


- どこにいても、何の制約もなくネットワーク、端末、コンテンツを自在に意識せずに、ストレスなく安心して利用できる通信サービス環境の構築



グリッドコンピューティングに期待できること

- 仮想化技術
 - 計算資源の仮想化
 - 情報資源の仮想化
- 情報管理、アクセス、モニタリング、発見技術
 - 情報管理機構
 - セキュリティ・認証機構





センサーネットワークの2つの側面

- 環境情報の取得と情報処理・制御
- 安心安全な社会インフラの構築

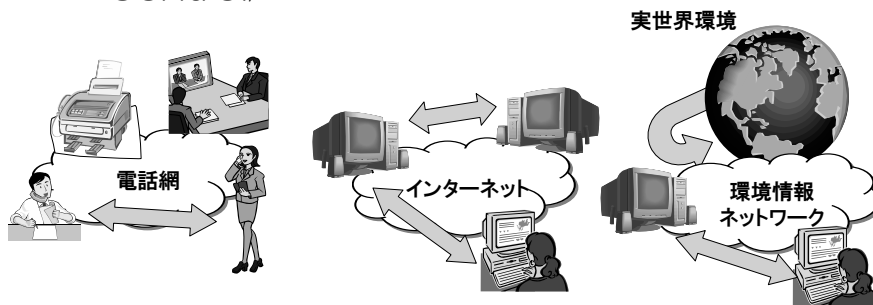
M. Murata

7



環境情報ネットワークの構築

- 環境情報の取得と環境の制御
- C³ (Communication & Computing & Control)



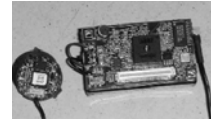
M. Murata

8



センサネットワーク

- 温度、湿度、加速度、照度などのセンサのネットワークワーキング技術
- 遠隔地、人、物の観測



MOTE2
Crossbow Technology, Inc.

- 応用分野：
 - 医療・健康：バイタルサインのモニタリング，安否確認
 - 防犯・セキュリティ：生活環境の安全を守る
 - 防災：火災，地震，洪水，土砂崩れ，建物倒壊などの検知
 - 環境：気象，水質汚染，大気汚染など自然環境の監視
 - その他：プラント，農場，流通

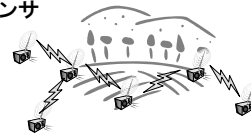
M. Murata

9



センサネットワークの特徴

- アプリケーションにあわせたセンサノードの配置；ネットワークの構成のしやすさを考慮した配置にはならない
- センサノードの追加や移動；より詳細に観測したいところへの追加，位置調整，対象物の移動
- センサノードの停止；故障，電池切れ，停止
- 多数（数百～数千）のセンサノード；建物，機器，体，車両，道路，街灯などあらゆる場所にセンサを配置
- 多様なセンサノード；環境内には目的に応じて様々なセンサノードが混在する



- 変化に対する柔軟性や耐故障性
- 拡張性（スケールビリティ）
- 低電力消費

自律分散
自己組織化
適応複雑系

M. Murata

10



同期型センサ情報収集機構

センサネットワークにおける自律分散制御によるセンサ情報の収集
 無作為に配置されたセンサ端末の自己組織的な制御
 拡張性, 適応性, 耐故障性を有する電力消費の少ない機構が必要

パルス結合振動子モデル

蛍の発光同期などの数学モデル

振動子の集合 $O = \{O_1, \dots, O_N\}$

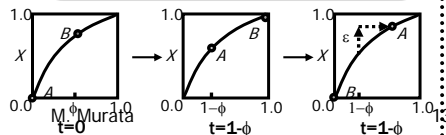
位相状態関数

$$x_i = f_i(\phi_i), f_i: [0,1] \rightarrow [0,1], i=1, \dots, N$$

$$= \frac{1}{b} \ln[1 + (e^b - 1)\phi_i]$$

振動子の状態励起

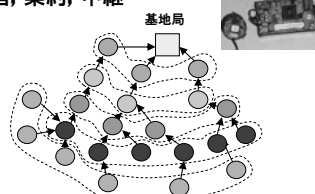
$$x_i(t) = 1 \Rightarrow x_i(t^+) = \min(1, x_i(t) + \varepsilon_i(\phi_j))$$



同期型センサ情報収集機構

蛍の発光 → センサ情報の発信

基地局から同じだけ離れたセンサ端末が同時にセンサ情報を発信
 より近いセンサ端末がセンサ情報を受信, 集約, 中継



センサネットワークへの応用



センサネットワークのための自律分散クラスタリング

センサ端末による自律分散制御によるクラスタ構成
 クラスタを用いた通信による消費電力抑制
 残余電力を考慮したクラスタヘッド選出, クラスタ形成による残余電力均一化

蟻の敵味方判別 (Colonial Closure)

個体・種・環境などにより異なる化学物質を表皮に塗布
 他の蟻と遭遇すると化学物質を互いに交換, 比較→似通ったものは仲間
 化学物質は遭遇時に更新され, 同じ巣の個体では似通っている



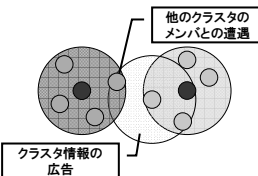
ANTCLUST

蟻の敵味方識別に着想を得たオブジェクトのクラスタリングアルゴリズム

センサネットワークへの応用

化学物質 → クラスタヘッドの名前・残余電力・位置情報
 仲間 → クラスタメンバ
 巣 → クラスタ

局所的な通信 (遭遇) によってクラスタ情報を交換,
 クラスタを自律分散的に形成 → センサネットワークの長寿命化
 M. Murata





アトラクタ選択モデルにもとづく経路選択

物理資源を共有するオーバレイネットワークの最適経路選択の競合
 それぞれのオーバレイネットワークは独自の利己的な最適化戦略をとっている
 動的に変化するシステム全体の最適化戦略の定式化は不可能

アトラクタ選択モデル

環境変化に応じてアトラクタ(安定状態)を選択することにより共生環境を構築する

2つの遺伝子の共生モデル

細胞はそれぞれのmRNAから必須物質を生成

$$\frac{dm_1}{dt} = \left(\frac{syn}{m_1^2} - act \times m_1 \right) \times act + \eta_1$$

$$\frac{dm_2}{dt} = \left(\frac{syn}{m_2^2} - act \times m_2 \right) \times act + \eta_2$$

m_i : mRNA濃度
 act : 細胞活性度
 η_i : ノイズ

必須物質質量低下→活性度低下→ノイズによる揺らぎ
 →欠乏する必須物質に応じたmRNA生成が
 選択的に増加

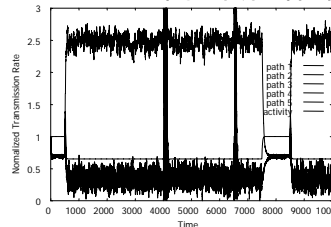
M本の候補経路からの最適経路選択

選択した経路のよさによってactivityを増減

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{syn(\alpha)}{1+m_i^2 - m_i^2} - deg(\alpha) \times m_i + (\gamma - \alpha) \eta_i$$

m_i : 転送レート
 α : activity
 η_i : ノイズ

オーバレイネットワークの状態に応じた
 確率的経路制御の実現



多変数への拡張

生物に学ぶ適応型ネットワーク制御 —得られた知見—

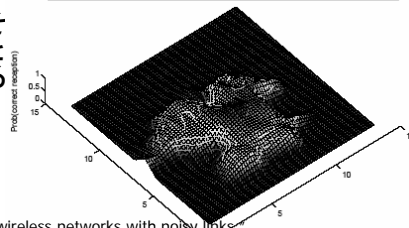
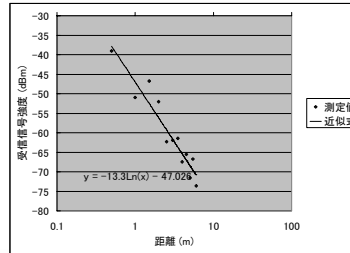
- 自己組織型制御の重要性
 - 基本構造は正のフィードバック+負のフィードバックによる安定化
 - もともとネットワーク制御では必須
 - ランダム性の導入による新しい解の発見、特に時間的変動のあるシステムに対してロバスト性を確保するのに必須要素
 - 経験的に採用されていたが、その妥当性が検証された
 - エンティティ間の通信による行動の決定
 - 環境を介した間接的なインタラクションによって、全体の制御を実現する(Stigmergy)、あるいはソフトステート
- 適応型かつ自己組織型制御による拡張性、移動性、多様性への対処可能性
 - Cf. *The behavior of natural systems may appear unpredictable and imprecise, but at the same time living organisms and the ecosystems in which they live show a substantial degree of resilience.* ("Toward Self-Organizing, Self-Repairing and Resilient Large-Scale Distributed Systems," A. Montresor et al. Technical Report UBLCS-2002-10, Sept. 2002.)
 - ただし、これは同時に問題でもある⇒緊急時通信



生物に学ぶ適応型ネットワーク制御 —効果的な例—

■ センサーネットワーク

- 環境変動が激しく、数学モデルによる予測が不可能
 - 受信強度は距離の2乗に反比例？
 - フェージング、マルチパスの数学モデル？
 - ビット誤りはギルバートモデル？
 - 時間的な変動が激しい
- ノード数、適切なクラスター数、それらの位置などあらかじめ知ることができないため、自律的に発見する必要がある



M. Murata

17
Lorna Booth et al., "Ad hoc wireless networks with noisy links,"
CALTECH available at www.paradise.caltech.edu/papers/bsjr047.pdf



意味のある情報の取り出しを どこでやるか



- センサーノード
 - データセントリックネットワーク
 - 必要な情報を取り出す
 - ノードの長寿命化
 - 情報の欠落？
- 情報ベース
 - データマイニング
 - 必要な情報が欠落しているのがわかって後の祭り
- 利用者
 - 必要な情報をどうやって探すか？

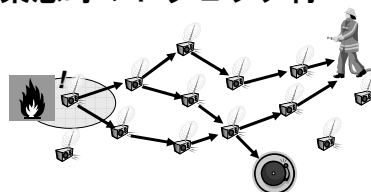
```
type=four-legged animal
Interval=20ms
duration=10sec
rect=[-100, 100, 200, 200]
```

M. Murata



安全・安心な社会のために

- センサネットワークの長期的な安定稼働・運用
- 異常発生の実確な検知・検出と異常情報の迅速かつ確実な伝達
- 従来技術
 - 同質のセンサが均一に配置された環境での省電力運用や情報伝達に注目
 - 異常状態の実確な検知・検出, 異常情報の実確かつ迅速な伝達ができない
- センサ情報の重要性・緊急度, 緊急時のトラヒック特性変化を考慮した
 - 異常時に備えた通常時制御
 - 異常情報伝達のための異常時制御

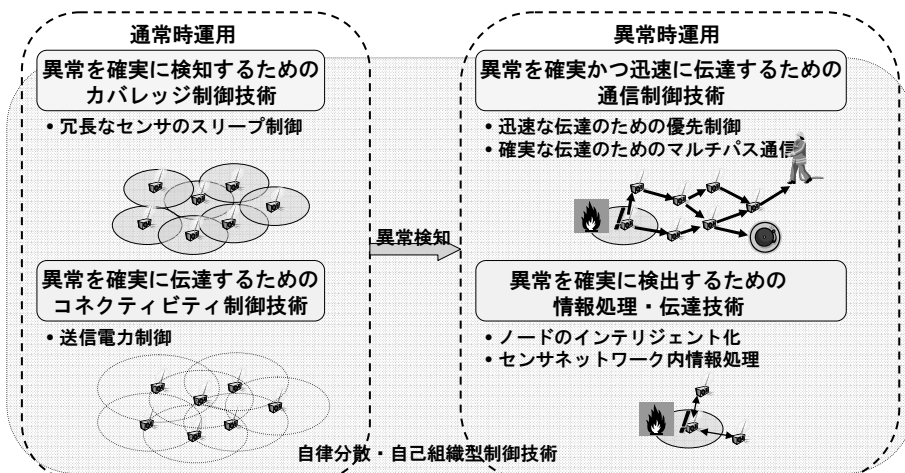


M. Murata

19



異常時に備えた通常時制御と 異常情報伝達のための異常時制御



M. Murata

20



まとめ

センサーネットワークの2つの方向

