

カメラセンサネットワークにおける 反応拡散モデルにもとづく 符号化レート制御機構の実装と評価

山本宏・兵頭克也・若宮直紀・村田正幸

大阪大学 大学院情報科学研究科

カメラセンサネットワーク

カメラセンサネットワークの概要

- 無線通信機能、カメラを備えたカメラセンサノードを設置
- カメラにより撮影された映像を基地局に伝送
- 街中などの監視、見守り



カメラセンサネットワーク

カメラセンサネットワークの概要

- 無線通信機能、カメラを備えたカメラセンサノードを設置
- カメラにより撮影された映像を基地局に伝送
- 街中などの監視、見守り
- カメラセンサネットワークの課題
 - 通信容量の制限
 - すべての映像を高品質に符号化、伝送するとネットワークが輻輳
 - QoS制御だけでは解決不可

映像の重要度にもとづいて符号化レートを決定

- 対象のいる映像 高品質
- 移動方向の映像 中品質
- そのほかの映像 低品質



反応拡散モデルにもとづく符号化レート制御機構 [7]

反応拡散モデル

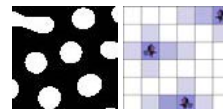
- 動物の体表の模様形成過程を因子の相互作用で説明
- 不均一な因子濃度分布(パターン)を形成

概要

- 反応拡散モデルの因子濃度分布と符号化レート分布の類似に着目
- 自律分散的に符号化レートを設定
- 隣接ノード間での制御情報のやりとり
- 反応拡散方程式の計算によってパターンを形成

符号化レートに対応付け

- 映像の重要度にあわせた品質設定

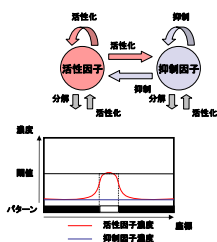


[7] K. Hyodo, N. Wakamiya, and M. Murata, "Reaction-diffusion based autonomous control of camera sensor networks", in Proceedings of 2nd International Conference on Bio-Inspired Model of Network, Information, and Computing System (BIONETICS 2007), Dec. 2007.

反応拡散モデル

- 1952年 チューリングが提案
- 動物の体表の模様形成過程を説明する数学モデル
- 2つの化学物質の活性化・抑制反応、拡散によって不均一な濃度分布を形成
- 活性因子・抑制因子の特徴

活性因子: u	抑制因子: v
因子を活性化	因子の増加を抑制
遅く拡散	速く拡散



反応拡散モデル

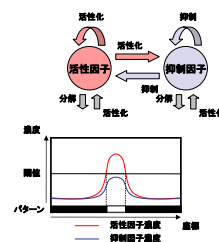
- 1952年 チューリングが提案
- 動物の体表の模様形成過程を説明する数学モデル
- 2つの化学物質の活性化・抑制反応、拡散によって不均一な濃度分布を形成
- 活性因子・抑制因子の特徴

活性因子: u	抑制因子: v
因子を活性化	因子の増加を抑制
遅く拡散	速く拡散

反応拡散方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v) + D_u \nabla^2 u + E$$

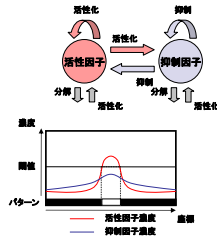
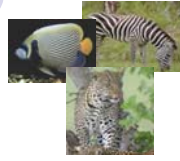
$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) + D_v \nabla^2 v$$



反応拡散モデル

- 1952年 チューリングが提案
- 動物の体表の模様形成過程を説明する数学モデル
- 2つの化学物質の活性化・抑制反応、拡散によって不均一な濃度分布を形成
- 活性因子・抑制因子の特徴

活性因子: u	抑制因子: v
因子を活性化	因子の増加を抑制
遅く拡散	速く拡散



反応拡散方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v) + D_u \nabla^2 u + E$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) + D_v \nabla^2 v$$

反応拡散モデルにもとづく符号化レート制御機構

基本動作

- 一定間隔で制御を行う
 - 刺激の設定
 - 活性因子濃度の増分
 - 対象物を中心とする因子濃度分布を形成するように設定
 - 対象物を検出した場合、対象物の速度にもとづき設定
 - 対象物の進行方向に位置する場合、隣接ノードからの刺激情報にもとづき設定
 - 反応拡散方程式の計算
 - 隣接ノードから受信した制御情報を利用
 - 符号化レートの決定
 - 因子濃度にもとづいて決定
 - 制御情報のブロードキャスト
- 各ノードは非同期に動作



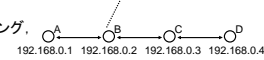
実装システムの概要

- カメラセンサノードとして、市販のカメラ、パソコンを使用
- IEEE 802.11gで通信
- IEEE 802.11 IBSS (アドホックモード)でネットワークを構成
- すべてのノード、基地局は同一IPサブネットに所属

制御情報

- 刺激情報、伝播方向、因子濃度などで構成
- 隣接ノードへ ブロードキャスト
 - 全ノードで受信できるため、アドレステーブルを用いてフィルタリング、隣接ノードからの情報のみ利用

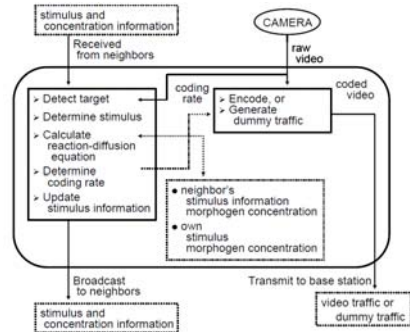
Position	Address
Left	192.168.0.1
Right	192.168.0.3



映像データ

- 符号化レートは $\frac{\text{活性因子濃度}}{\sqrt{\text{抑制因子濃度}}}$ の値に基づいて決定
- 実験ではダミートラヒックを使用
- 基地局へ UDP、シングルホップ、ユニキャスト

実装システムの概要: ノードにおける処理



評価実験の概要

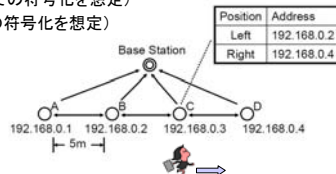
- 4台のノードを5m間隔で直線状に配置
- 基地局をノードB, C間の離れた位置に設置
- 符号化映像と同量のダミートラヒックを送信
- 受信結果にもとづき評価映像を作成

比較対象

- 符号化レート制御を適用 (0.75 Mbps, 1 Mbps, 2 Mbps)
- 常に0.75 Mbps (低品質での符号化を想定)
- 常に2 Mbps (高品質での符号化を想定)

対象物

- 移動方向: ノードAからD
- 移動速度: 1.8 km/h



評価尺度

パケット棄却率

- ノードで送信されたパケット数に対する、基地局で受信できなかったパケット数の割合

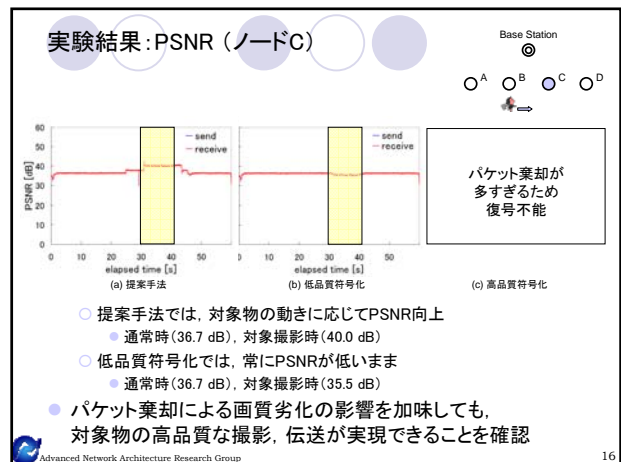
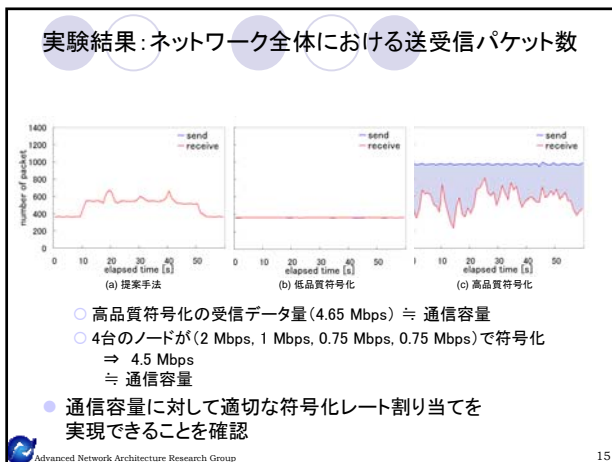
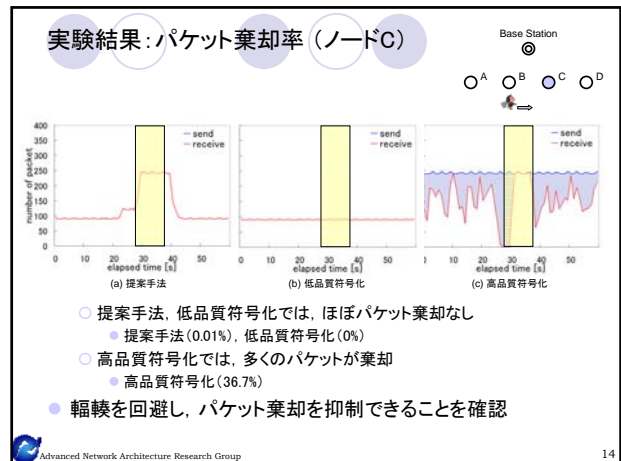
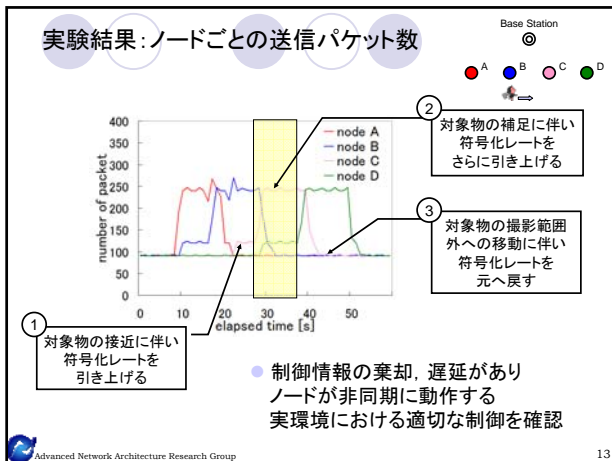
送信・受信映像の原画像に対するPSNR

- PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)
 - 比較画像の原画像に対する類似度

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right)$$

$$MSE = \frac{\sum (f(i, j) - F(i, j))^2}{mn}$$

- 画像サイズ: $m \times n$ [ピクセル]
- 原画像の (i, j) ピクセルにおける輝度差: $F(i, j)$
- 原画像の (i, j) ピクセルにおける輝度差: $f(i, j)$



まとめと今後の課題

- まとめ
 - カメラセンサネットワークにおける反応拡散モデルにもとづく符号化レート制御機構を実装し, 実環境における有効性を検証
 - 提案手法を適用することにより,
 - 輻輳を抑え, アプリケーション要求を満たす映像伝送が可能であることを, 実証実験により確認
- 今後の課題
 - より大規模なネットワークへ適用した場合の有効性の評価
 - パラメータの動的設定手法の検討
 - 対象物の速度と刺激量の対応
 - 因子濃度と符号化レートの対応

Advanced Network Architecture Research Group 17

