

大規模ユビキタスセンサネットワークを 自己組織化する相互適応通信制御方式 の研究開発

関山浩介(研究代表)*

伊達正晃**

久保裕樹**

* 名古屋大学

** 沖電気工業株式会社

センサネットワーク(1/2)

• 背景

– 無線技術の進歩

- 携帯電話, 無線LAN, Bluetooth

– デバイスの進歩

- 無線デバイス, センサデバイスの小型化

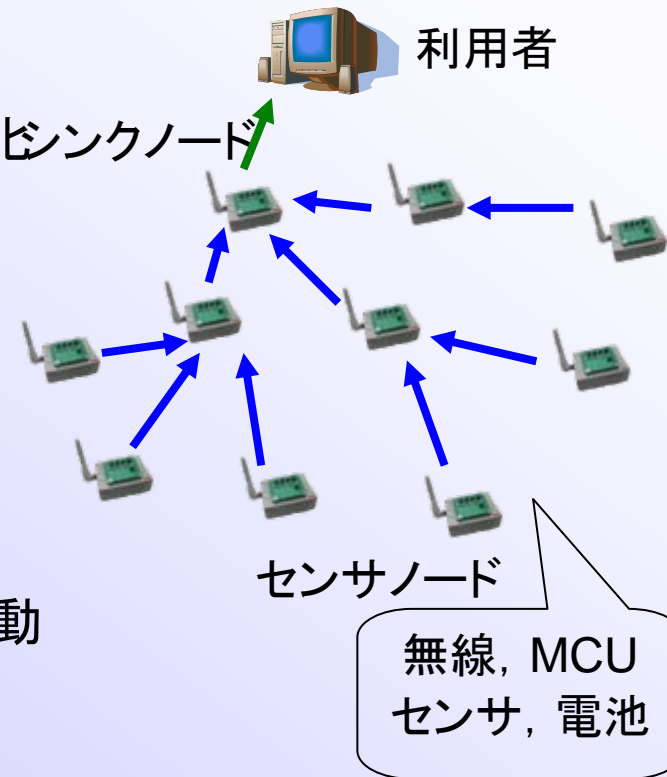
• センサネットワーク

– 広範な環境情報の取得

- 部屋, ビル, 工場, 農場, 海洋, 地球

– 多様なセンサ

- 温度, 光, 音, 磁気, 加速度, 圧力, 振動



センサネットワークにおける技術的課題

• デバイスに関する課題

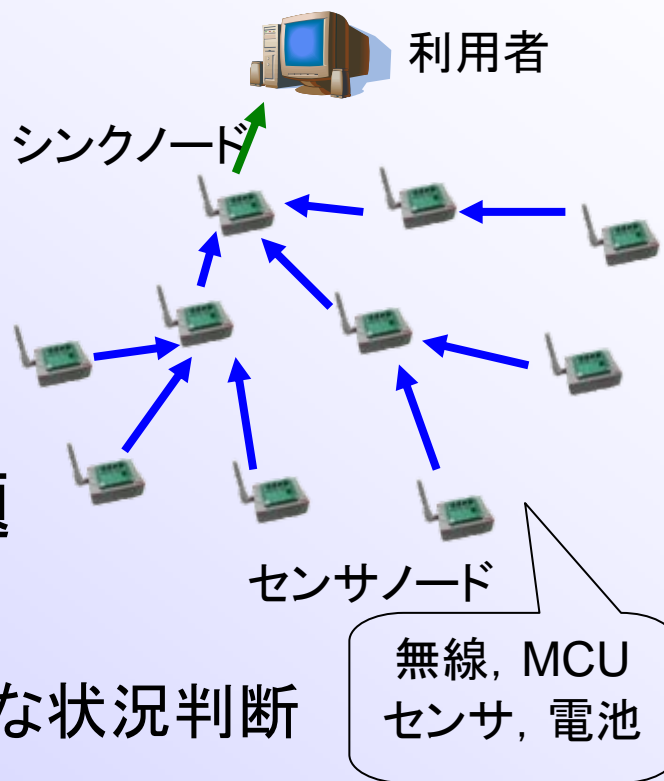
- 無線デバイス, センサデバイスの小型, 省電力化
- 小型, 大容量のバッテリー

• 無線通信に関する課題

- 通信の衝突回避
- 省電力通信プロトコル
- マルチホップルーティング

• 開発, 運用, 相互接続に関する課題

- 組み込みOS, ミドルウェア
- 膨大なセンサデータの処理, 統合的な状況判断
- 各方式の標準化



本研究の目的

- 通信タイミングを制御することによる高効率化
 - － 通信衝突回避技術(位相拡散時分割方式)の開発
 - 自律的な通信タイミングの形成
 - 適切に通信タイミングを形成することによる通信衝突回避
 - 干渉波の影響を考慮した通信タイミング形成
 - パケットロスが少ない高スループットなアクセス制御の実現
 - － 省電力通信技術の開発
 - 位相拡散時分割方式の省電力適用
 - より省電力, 低遅延な方式(低遅延型省電力リスニング)
- センサネットワークの新規アプリケーション, サービスの展開の促進

研究開発のロードマップ

2005: 基礎理論

- 位相拡散時分割方式 (PDTD)
- 位相拡散同期アライアンス (PDSA)

2006: 理論拡張

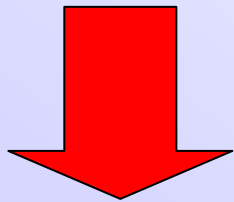
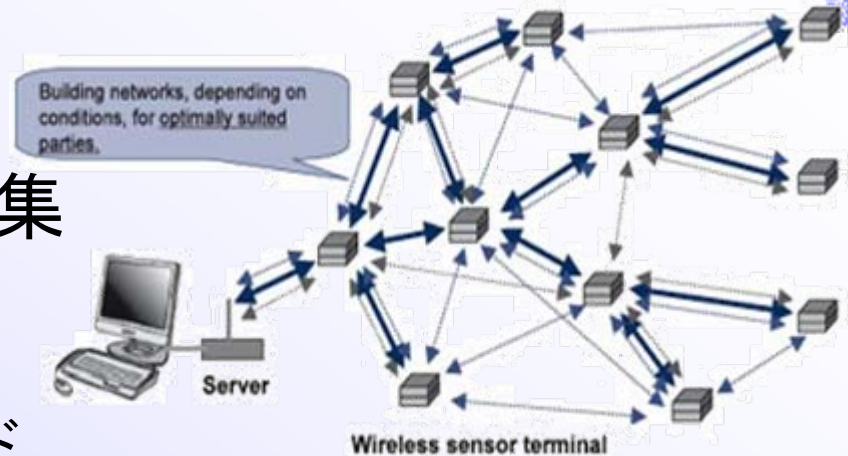
- 干渉源ノードへの対応
- 大規模通信予備実験

2007: 大規模通信実験

- 通信位相区間自律制御
- 省電力化の検討
- 移動ロボットによるモバイルシンクノード

大規模センサネットワークのための 通信タイミング制御

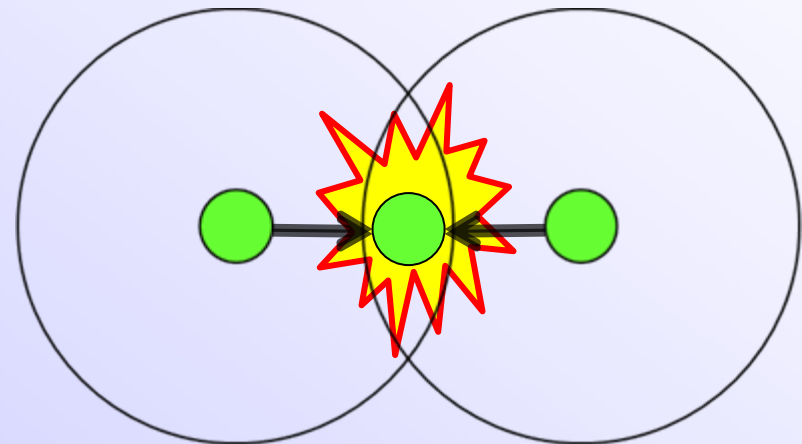
- 無線ノードを多数用いて
搭載したセンサから情報収集



CSMA/CA
周囲に通信しているノード
がいなければ送信する

- 通信衝突が頻発
- 集中管理ができない状況

自律分散通信タイミングの
制御手法の構築



かくれ端末問題

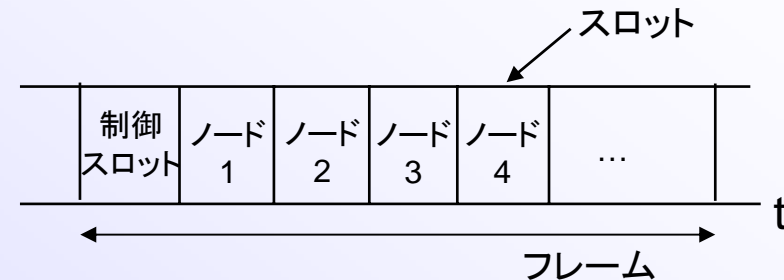
I. 位相拡散時分割方式の原理

Phase Diffusion Time Division Method

関連研究と課題

- 分散スケジュール型TDMA

- USAP (Unifying Slot Assignment Protocol) [1]など
 - 2ホップ近傍と使用スロットの情報をやりとりして空きを選択
- 時刻同期は対象外



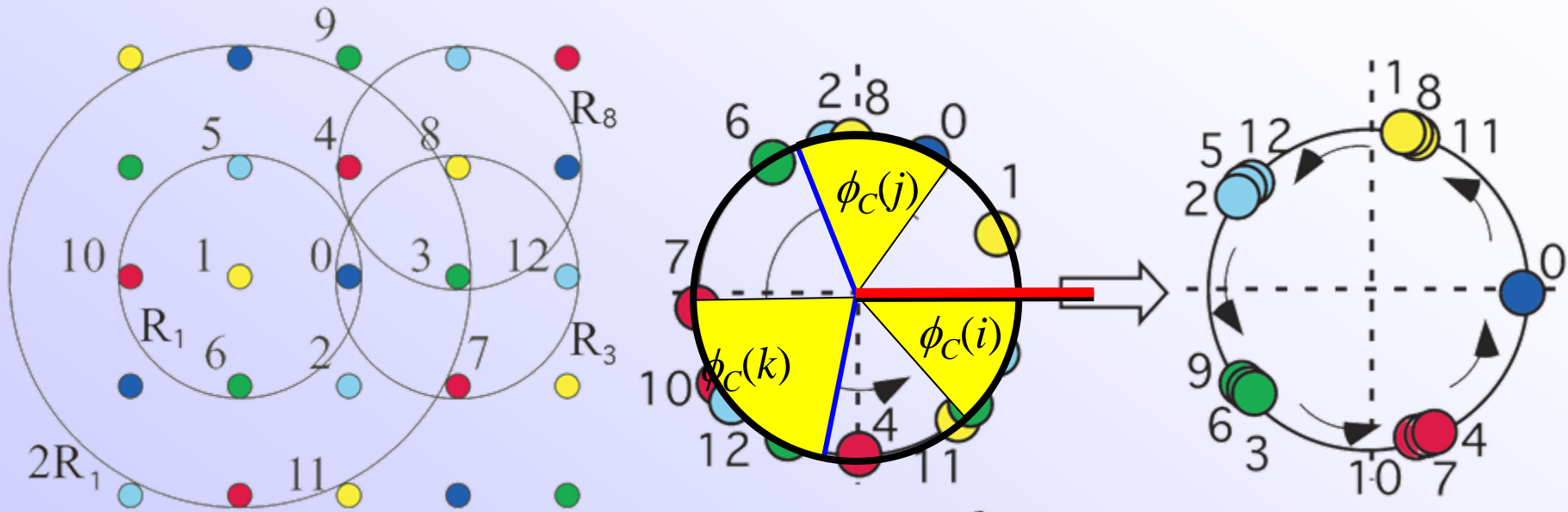
- 結合振動子のモデルを応用したもの[2]

- 全結合なネットワークに限定
- 割り当てる通信時間は全て同一

[1] C.D.Young “USAP multiple access: Dynamic resource allocation for mobile multihop multichannel wireless networking”, Proc. IEEE MILCOM’99, vol.1, pp271-275, 1999.

[2] Julius Degesys, Ian Rose, Ankit Patel, and Radhika Nagpal, DESYNC: Selforganizing Desynchronization and TDMA on Wireless Sensor Networks. Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pages 11-20, 2007.

位相拡散時分割方式 Phase Diffusion Time Division (PDTD)



$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \frac{k}{N_i} \sum_{j \in K_i} R(\Delta\theta_{ij}) + \xi(S_i)$$

互いに干渉しないノード同士が同じ位相に集まることで、よりスループットが向上する**衝突回避パターン**が形成される

位相ダイナミクスに基づく通信タイミング制御

• タイミング制御ダイナミクス

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j \in K_i} R(\Delta\tilde{\theta}_{ij}) + \xi(S_i)$$


- θ_i ノード*i*の位相
- ω_i ノード*i*の角速度
- $R(\Delta\tilde{\theta}_{ij})$ 位相応答関数
- $\Delta\tilde{\theta}_{ij}$ ノード*j*との位相差
- $\xi(S_i)$ 確率項
- S_i ストレス値
- K_i ノード*i*の2ホップ集合

相互作用項
反発の相互作用

確率項
確率的な変化によって適切な位相パターンを形成

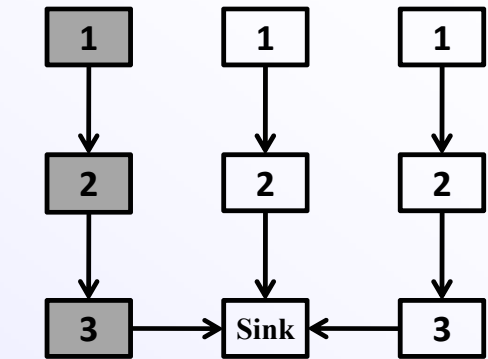
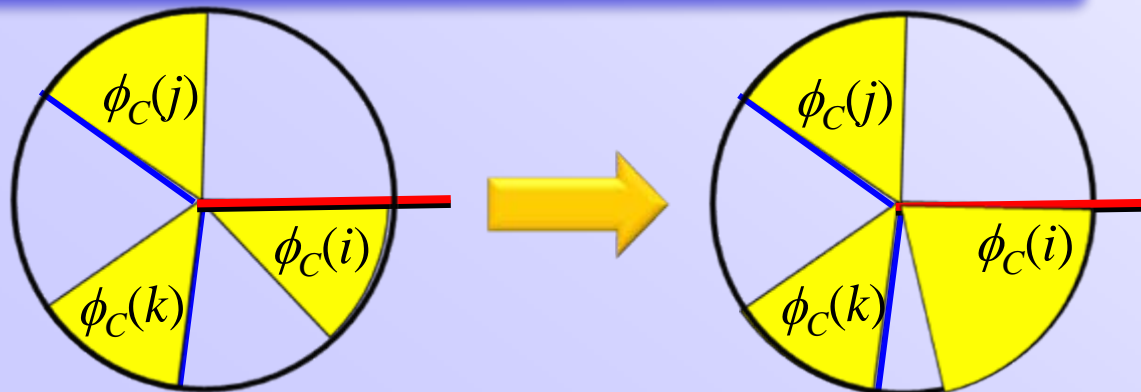
II. 大規模通信実験とトポロジー変化に 適応する通信位相区間の自律制御

通信位相区間の自律制御の必要性

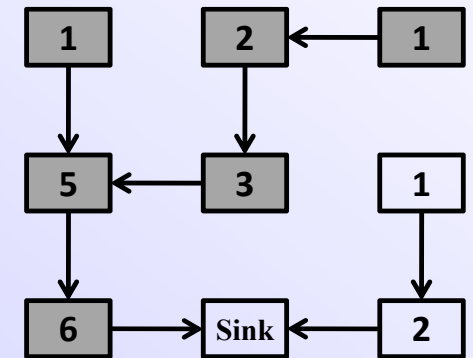
従来までのPDTDでは通信位相区間 ϕ_c はトポロジーに応じて事前に設定していた
動的な通信負荷の変化に対処できない



通信負荷の変化に応じて自律的に ϕ_c を獲得する手法が必要

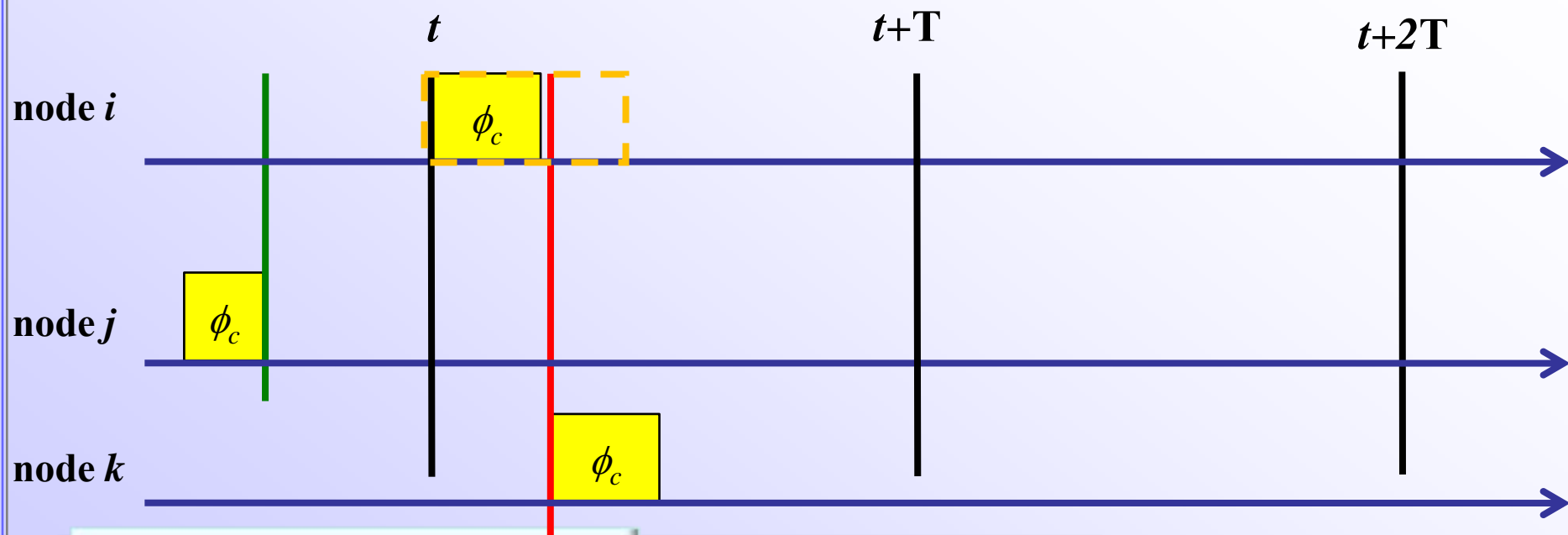


Topology α



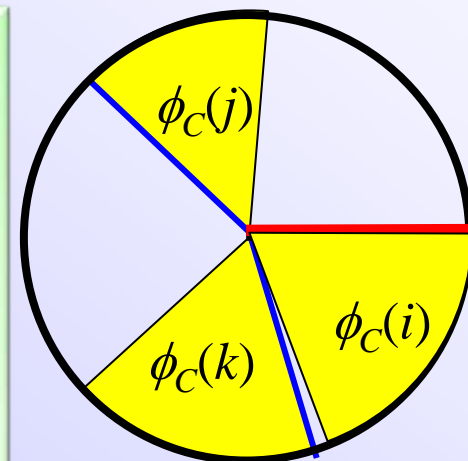
Topology β

通信位相区間 ϕ_c の自律制御(1/2)

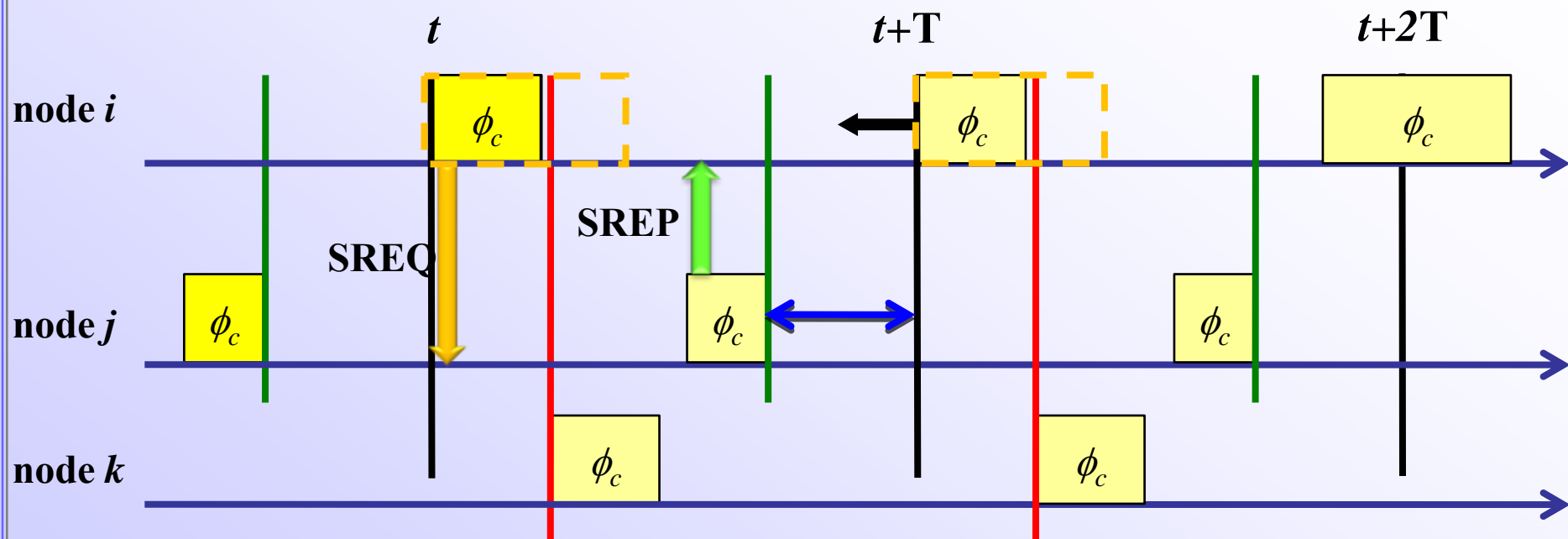


通信終了時刻の制御

1. 1周期ごとに残存キュー数より必要とする ϕ_c の大きさを決定する.
2. 位相の衝突しない ϕ_c の最大値を決定する.
3. 1, 2のうち小さいほうの値を ϕ_c とし, 通信終了時刻を決定する.

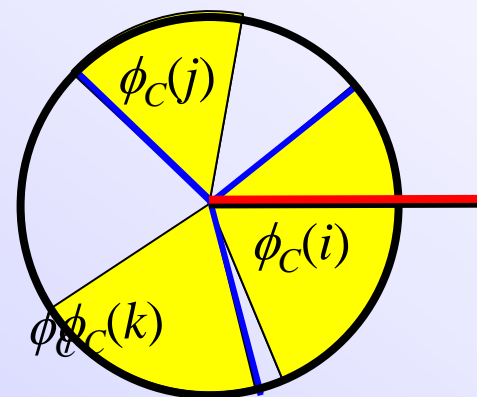


通信位相区間 ϕ_c の自律制御(2/2)



通信開始時刻の制御

1. node j にSREQを送信する.
2. node j からのSREPを受信する.
3. 次回通信開始時間を早める.



大規模通信実験

目的

トポロジー変化に対して、
各ノードが適切に通信位相区間 ϕ_c を獲得することを検証する

評価方法

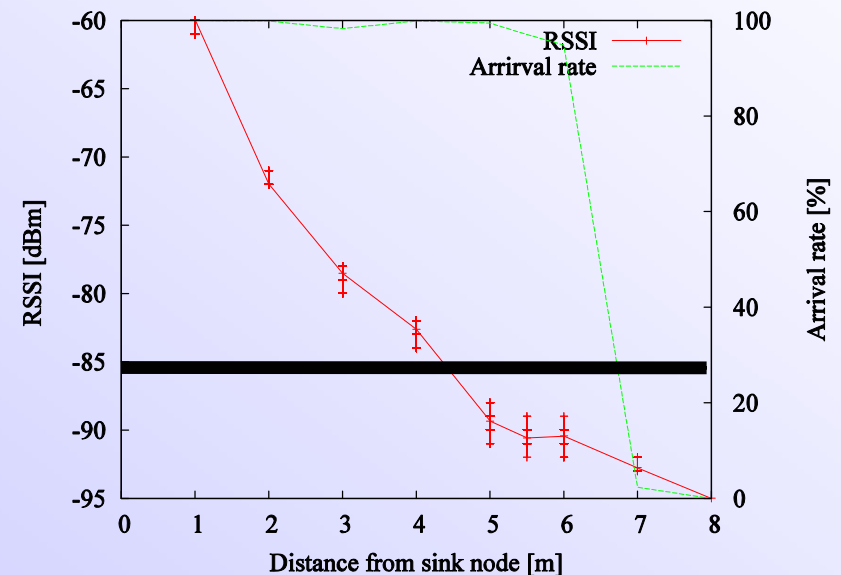
通信位相区間の自律制御アルゴリズムを使用した場合と
使用しなかった場合とで以下の2点について比較する

評価項目 1. サンプルノードにおける ϕ_c とキュー長の関係

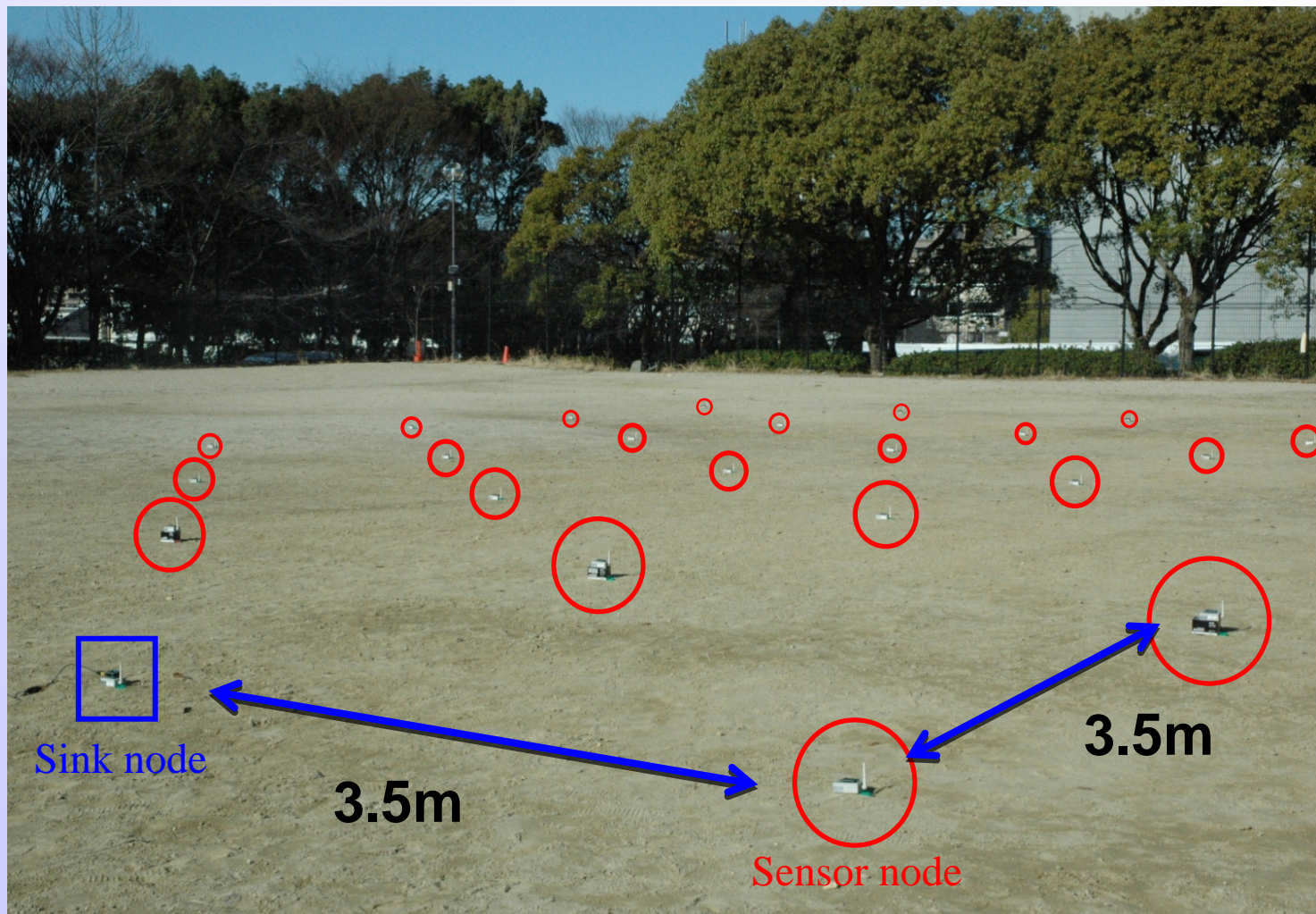
評価項目 2. 単位時間当たりのシンクノードまでの
到達パケット数(スループット)

実験装置(ノード仕様)

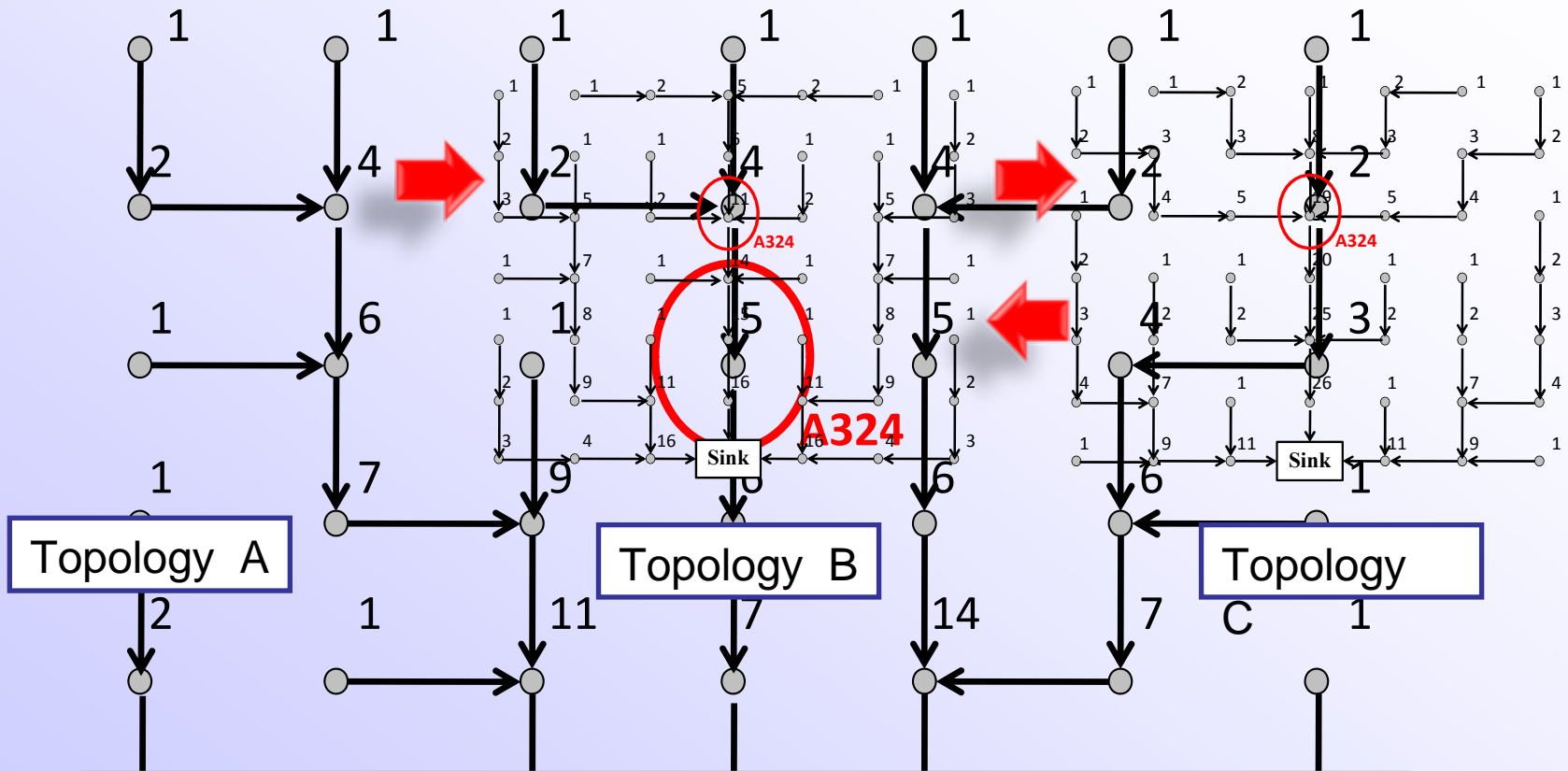
- ZigBeeベースの無線ネットワーク
- 無線: DS-SS方式
 - 2.4GHz帯、16ch
- 無線強度: 1mW/MHz以下
 - (8段階に調節可能)
- 伝送速度: 250 kb/s
- 伝送距離: 30m
- **MPU**: ARM7(32ビット)
- クロック: 16MHz
- **ROM/RAM**: 512K/32KB
- 本体: 86 × 62 × 30mm



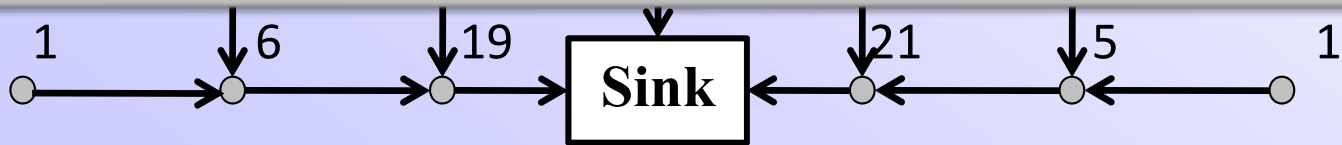
実験環境



ルーティングトポロジ



600秒ごとにトポロジーを変更し、合計で2400秒実験を行う。



実験条件

設定値

- 周期 : 3000 [msec]
- トラフィック発生周期 : 3000 [msec]
- ノード総数 : 49
- 最大キュー長 : 100 [pkt]

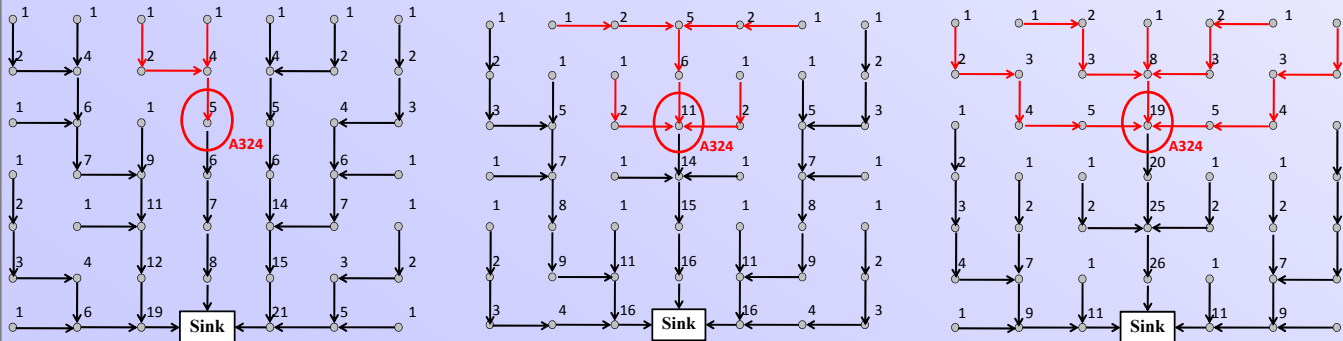
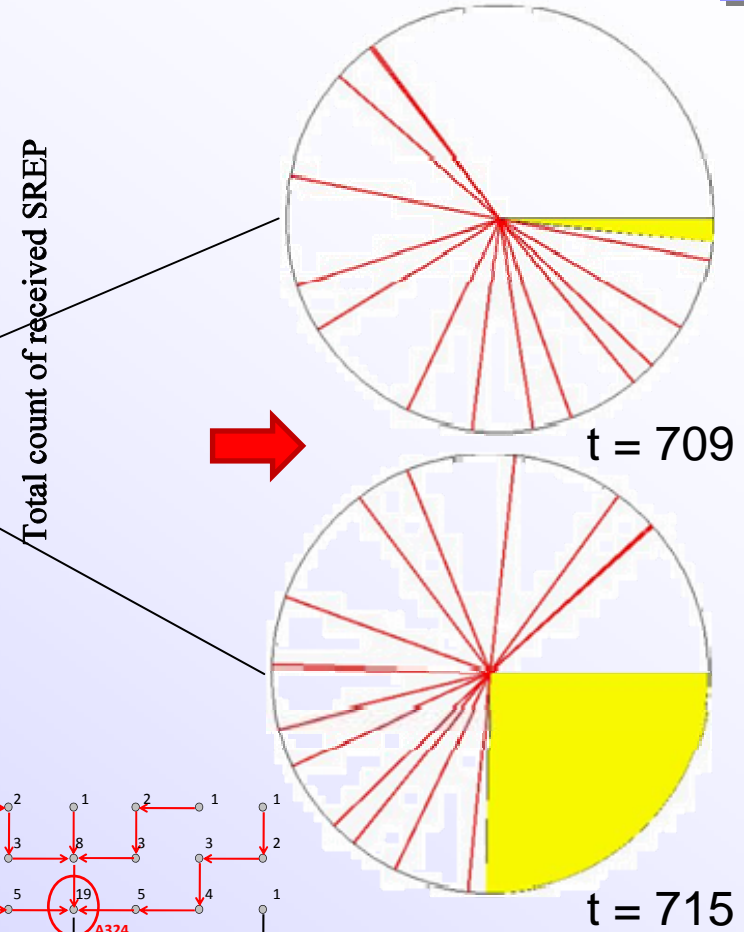
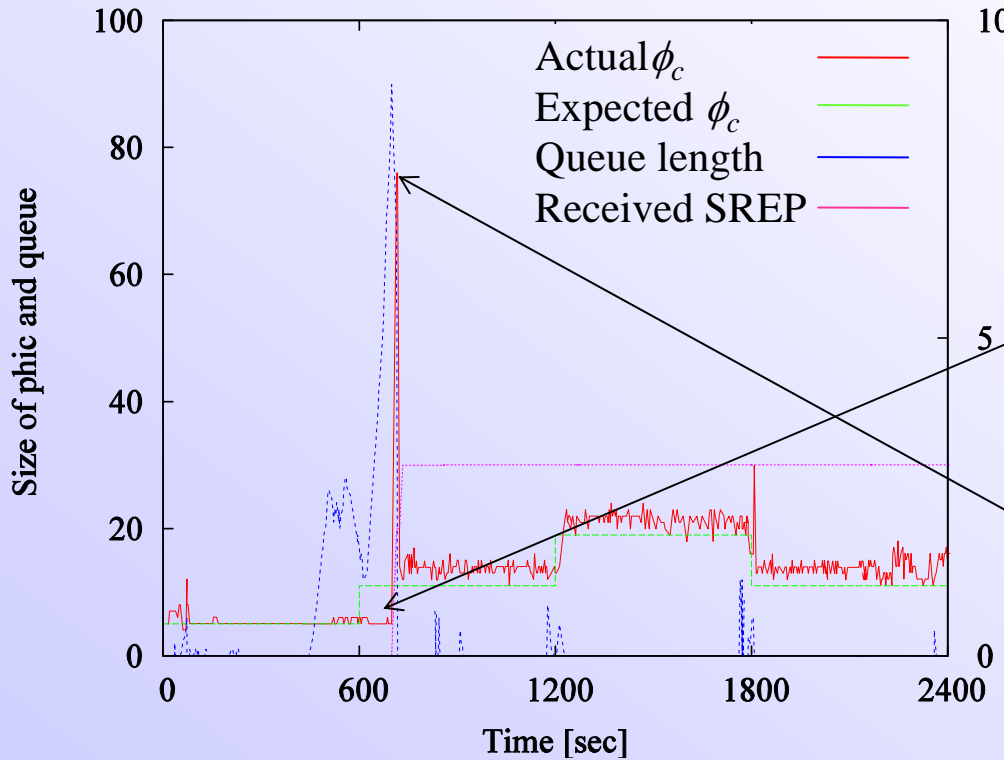
実験項目

Case 1 : 通信位相区間の自律制御あり

Case 2 : ϕ_c を各Topologyに最適化

Case3 : CSMA

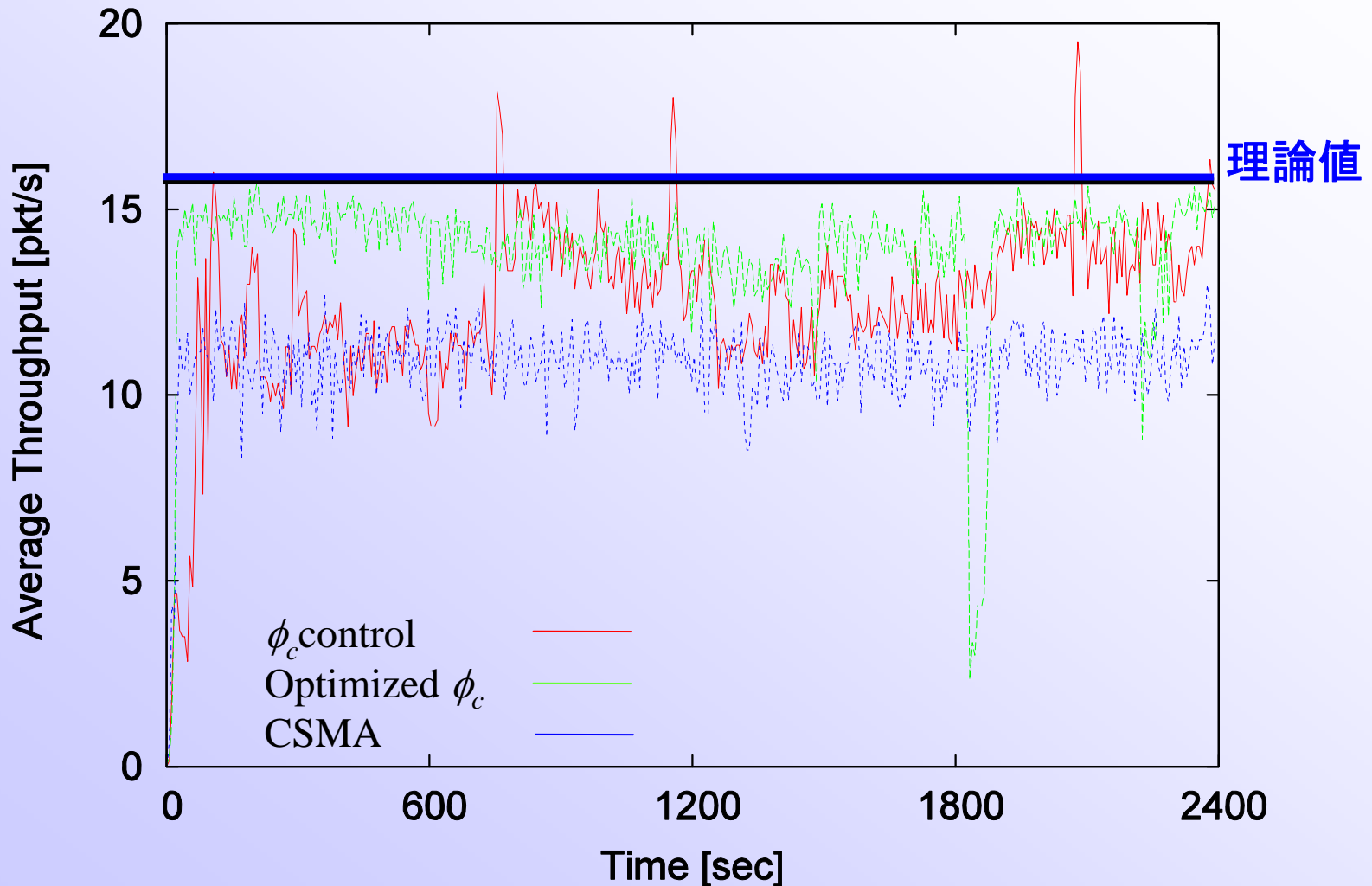
評価項目 1. ϕ_c とキュー長の関係(A324)



評価項目 1. ϕ_c とキュー長の関係(A324)

- 近傍ノードとの位相差がある程度ある状況下では、通信終了時刻の制御のみを行い、通信負荷に応じた ϕ_c を獲得できている。
- 通信終了時刻の制御だけでは対応できないときは、SREQとSREPを用いた通信開始時刻の制御により、通信負荷に応じた ϕ_c を獲得できている。

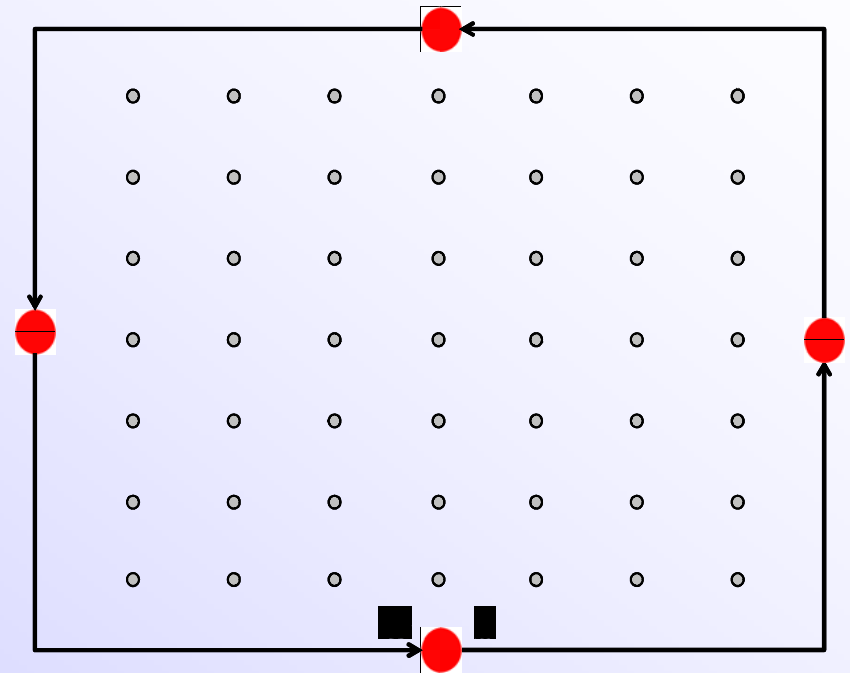
評価項目 2. 単位時間あたりのパケット到達数



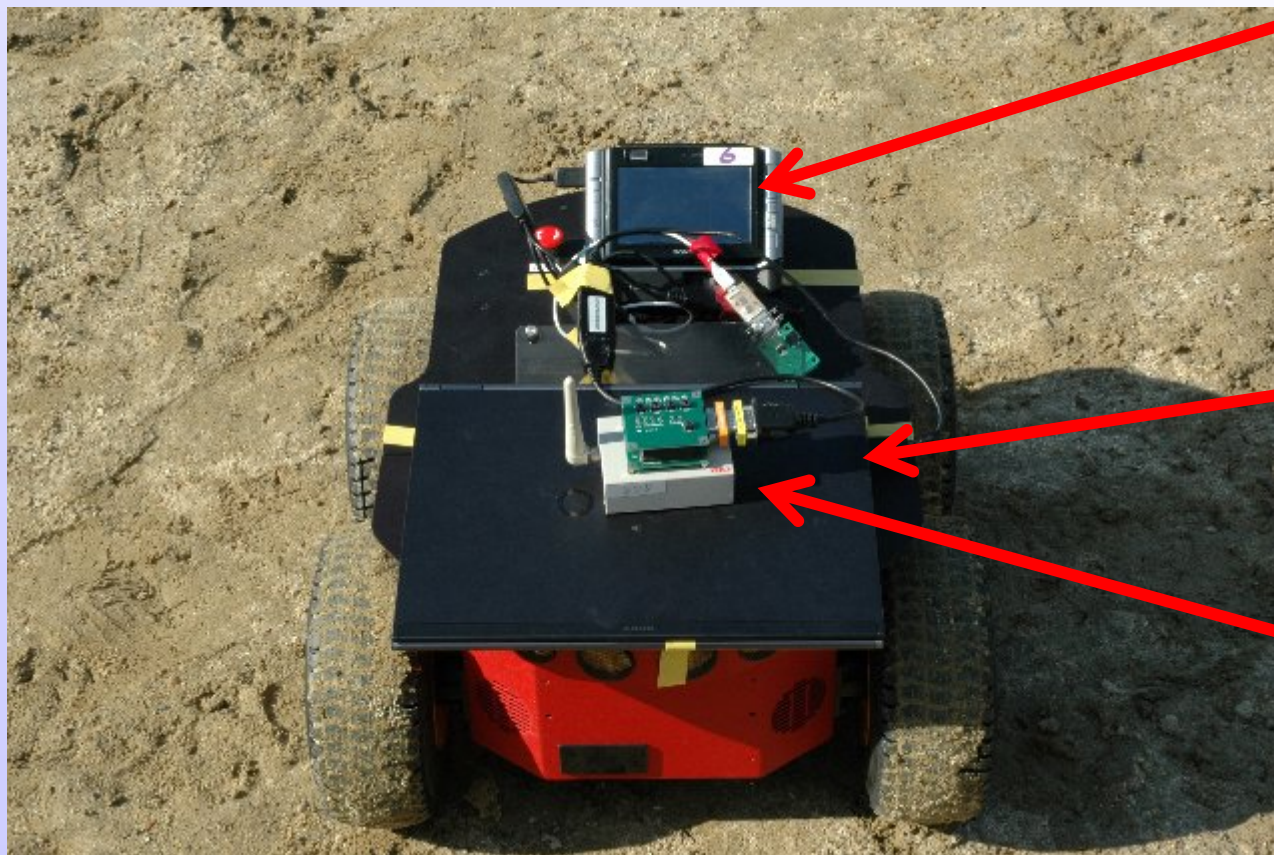
シンク移動環境下での通信実験

実験目的

各ノードが自律的にルーティングプロトコルを構築し、それに伴って変化する通信負荷に応じて、 ϕ_c を自律的に制御し、パケットがシンクまで適切に送信されることを確認する。



シンクの移動方法



Pioneer3制御用PC

データ受信用PC

シンクノード

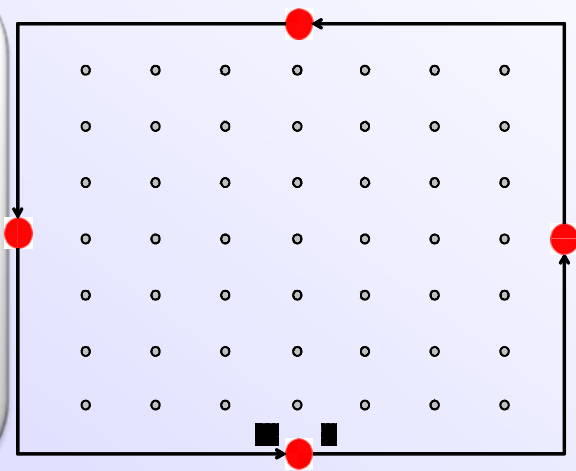
実験条件

評価項目

ルーティングを形成し、シンクまで到達した平均パケット数

設定値

- 周期 : 3000 [msec]
- トラフィック発生周期 : 3000 [msec]
- ノード総数 : 50
- 最大キュー長 : 100 [pkt]
- シンク停止時間 : 3000 [msec]



実験風景



結論

- 位相拡散時分割法を提案し、通信位相区間 ϕ_c を自律調節する手法を提案した.
- ノード49個によって、トポロジーの変化する状況下での実機による通信実験を行った.
- トポロジーが未知の場合においても ϕ_c を自律的に調節することで、CSMAよりも高いスループットが得られた.

今後の課題

- ϕ_c 制御の通信負荷の変化への応答性をより良くし、スループットが安定するまでの時間を短くする.
- ランダム配置やシンクノードの移動, センサノードの増減に対応するために, ルーティグトポロジーの自動生成を実現.