

情報の鮮度を用いたロボット間通信の効率化

計 宇生、レ ティエンタン、グエン タンチュン

どんな研究？

この研究は、無線アドホック通信を使用して自律移動ロボット(AMR)間の情報更新を効率的に行うための方法を見出すことが目的です。研究では、情報鮮度(AoI)を利用して、最新の情報を把握できるようにしながら、移動ロボット間通信の輻輳を回避し、効率化する実用的なアルゴリズムを開発し、検証システムに実装して評価を行っています。

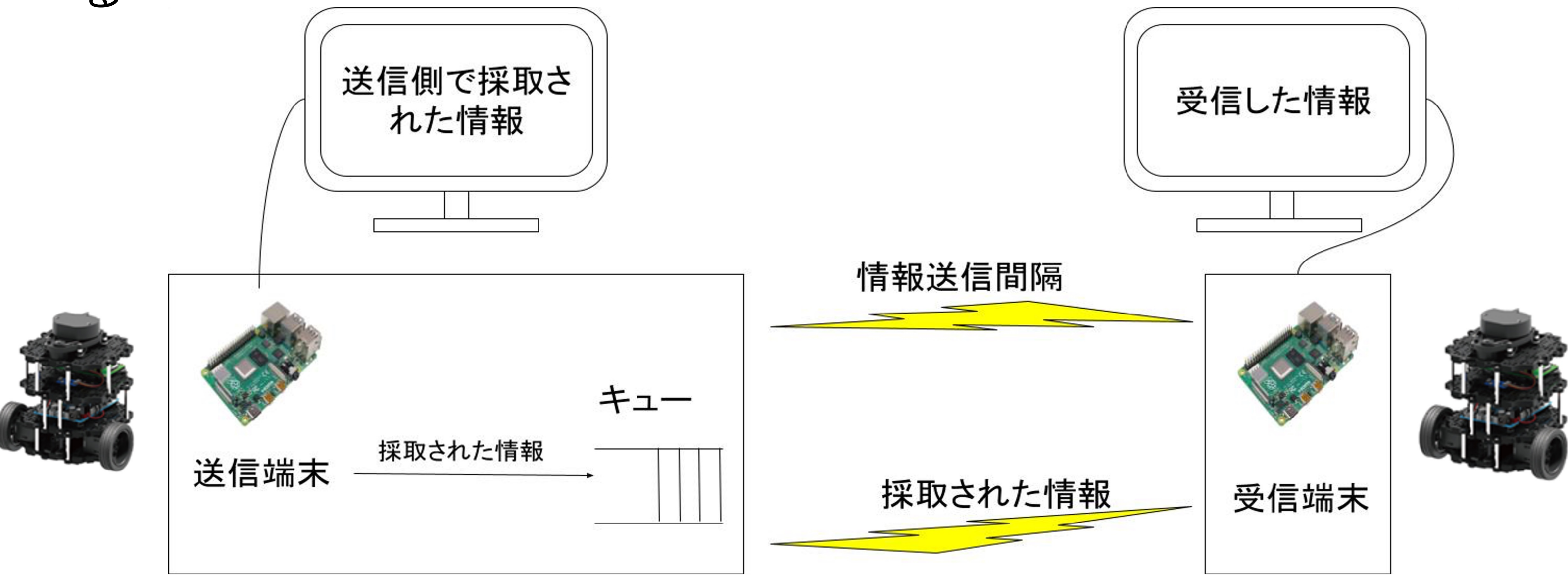
何がわかる？

複数の移動ロボット間で効果的に協力するには、お互いからの最新の情報を必要とします。受信者は、送信者の最適なサンプリングレートを決定して情報鮮度 (AoI) を最小にする必要があります。サンプリングレートが低いとAoIが高くなり、サンプリングレートが高いとネットワークの混雑が発生します。この問題に対処するため、受信者でオンライン学習アルゴリズムを実装し、最適なレートを見つけます。

システムモデル・目的

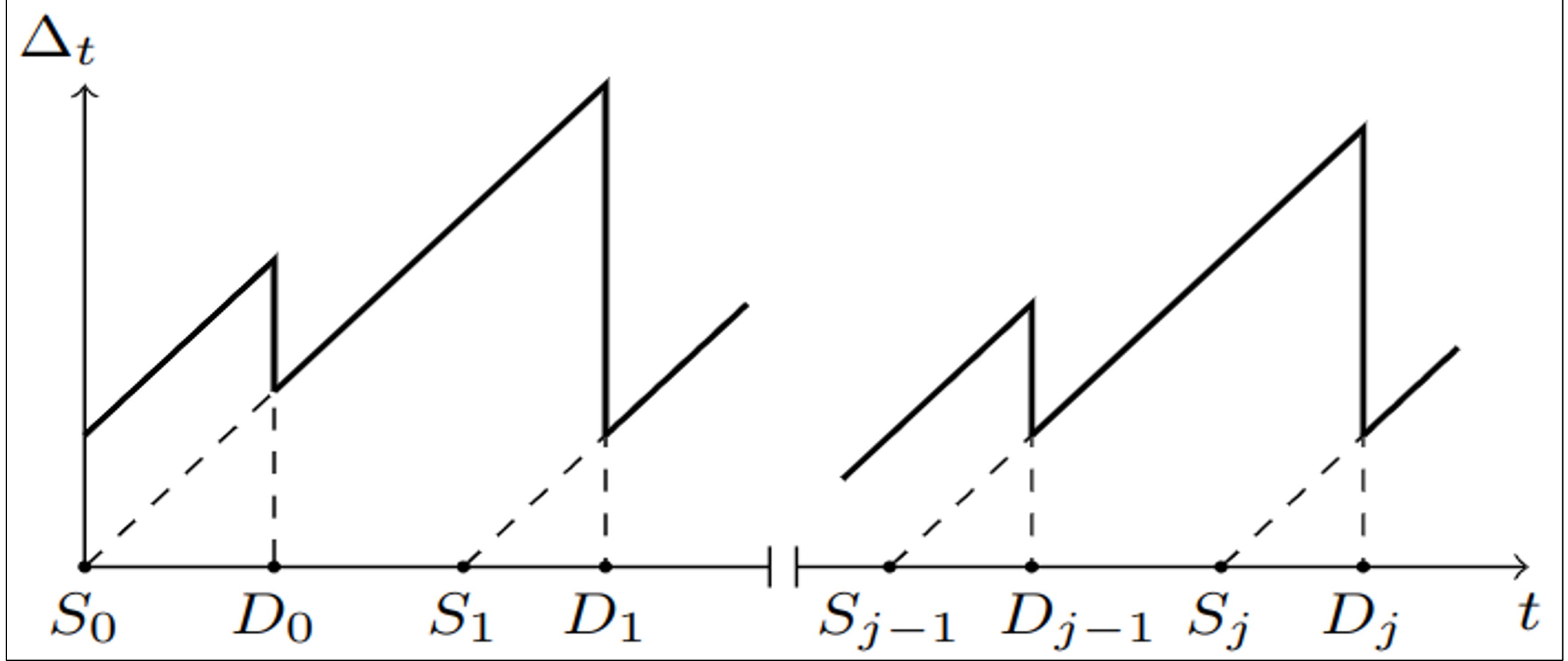
AMR間アドホック通信

- 協力する2台のAMR (Autonomous Mobile Robot)を考える
- ビッグデータ分析や知的意思決定などのために、AMR間でローカルな観察結果を共有する必要がある
- アプリケーションの性能は、共有された観察結果の情報鮮度に依存する



目的：AoIの削減

- 情報鮮度を定量化する尺度としてAoI (Age of Information)を使用
- 更新がない場合、受信者のAoI (Δ_t) は時間と共に線形的に増加する
- 時刻 S_j に採取された情報の更新パッケージが時刻 D_j に受信されると、AoI (Δ_t) は更新情報の経過時間 ($D_j - S_j$) にリセットされる
- 仮定：** AMRの通信チャンネルは共有されているため、容量が限られており、時間とともに変動する



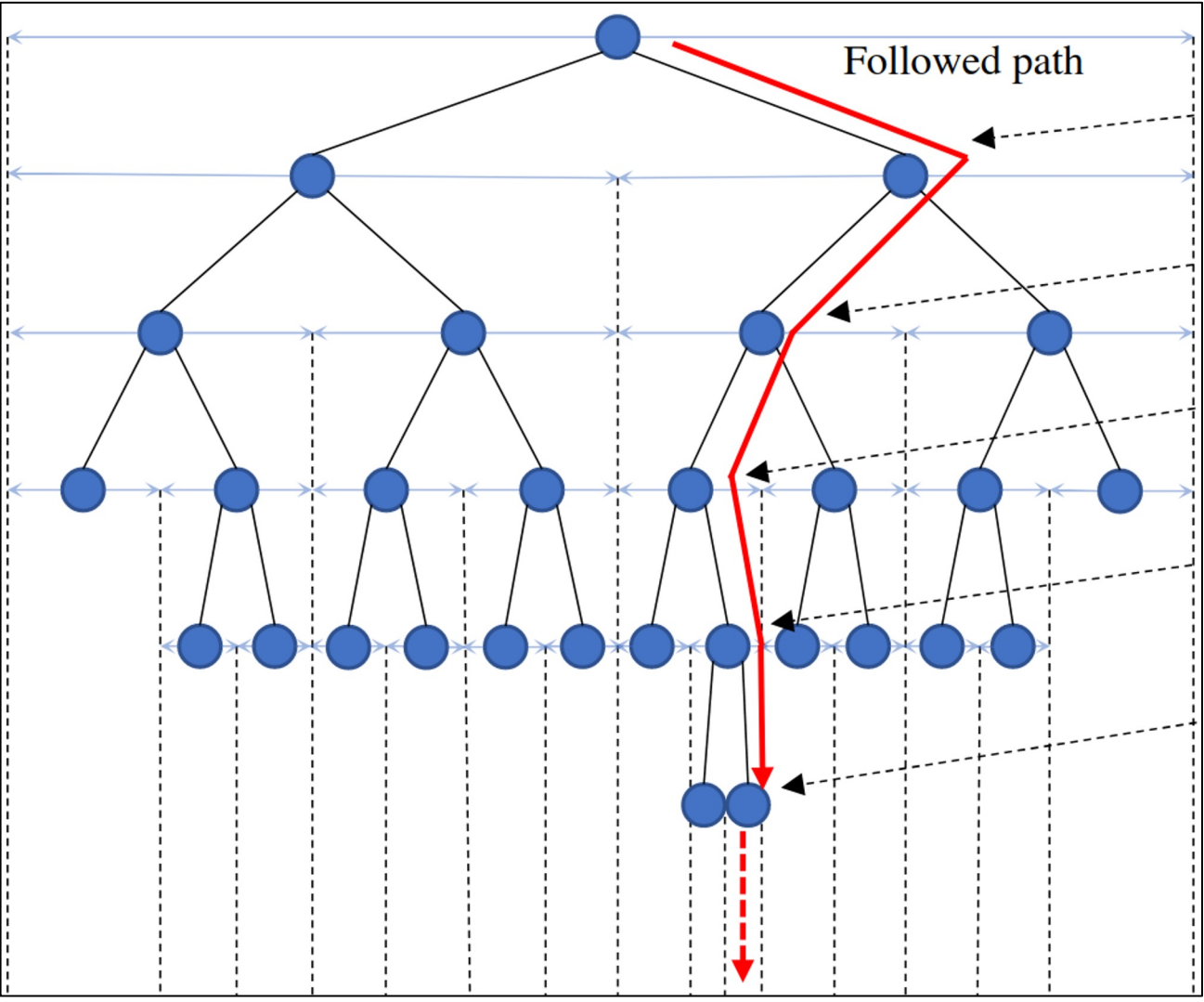
研究内容（方法・結果）

問題：AoIを最小化するための最適なサンプリングレートをみつける

- 目的：更新メッセージの最適な送信間隔を選択することによって、AoIを最小化する

方法：オンライン学習

- 既存研究[1]では理論的な最適待機時間を導出するために理想的な通信環境を仮定している
- 本研究では未知の環境に対して、X-多腕バンディット(XAB)法[2]を適用した
 - 階層的分割を使用して連続変数を二分木に離散化
 - 各ノードの平均AoIと推定の不確実性を評価
 - 「不確実性 - 平均AoI」の値が最大になるパスを選択
 - リーフノードに対応する待機時間の値を選択



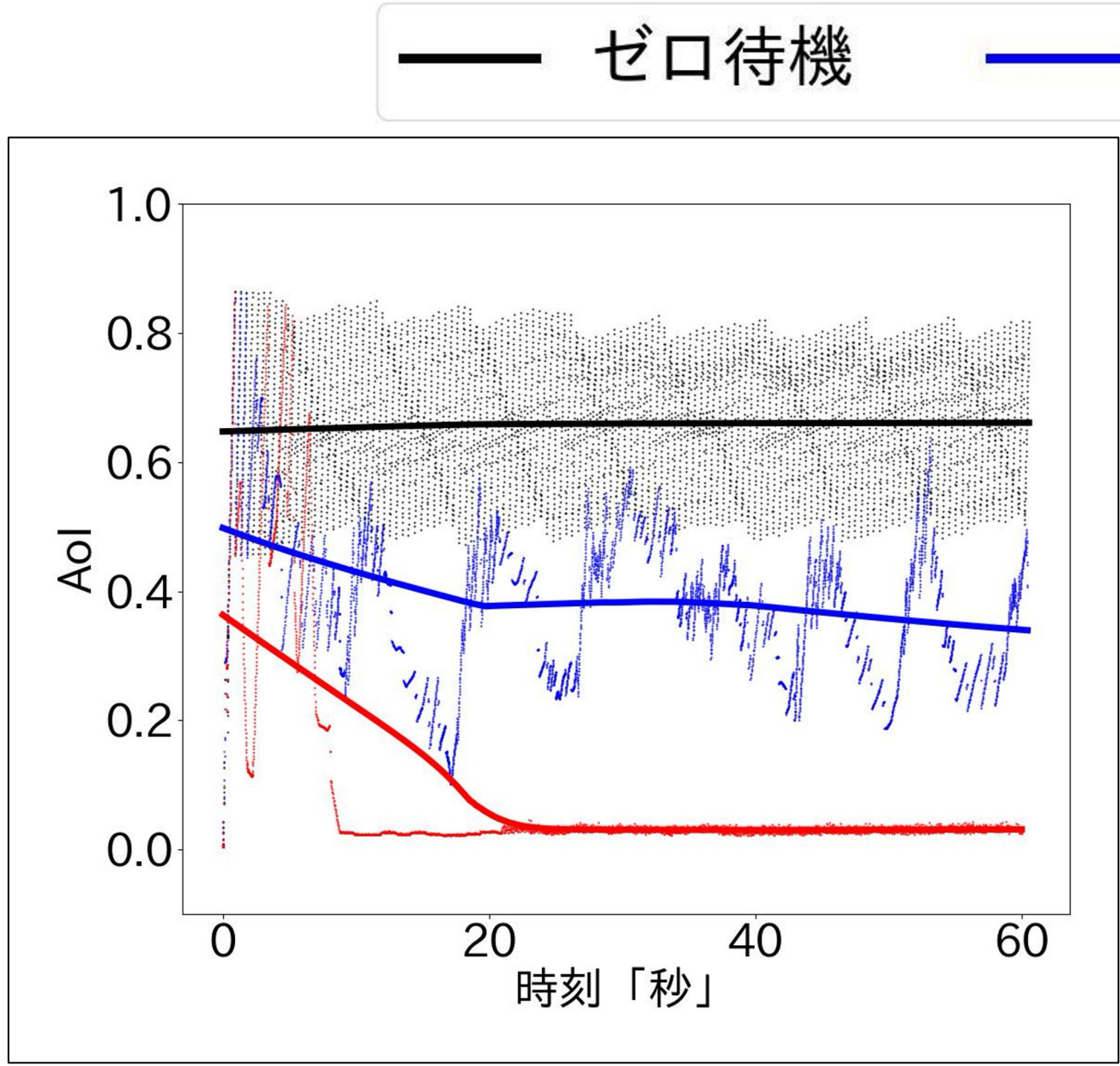
結果

実験設定

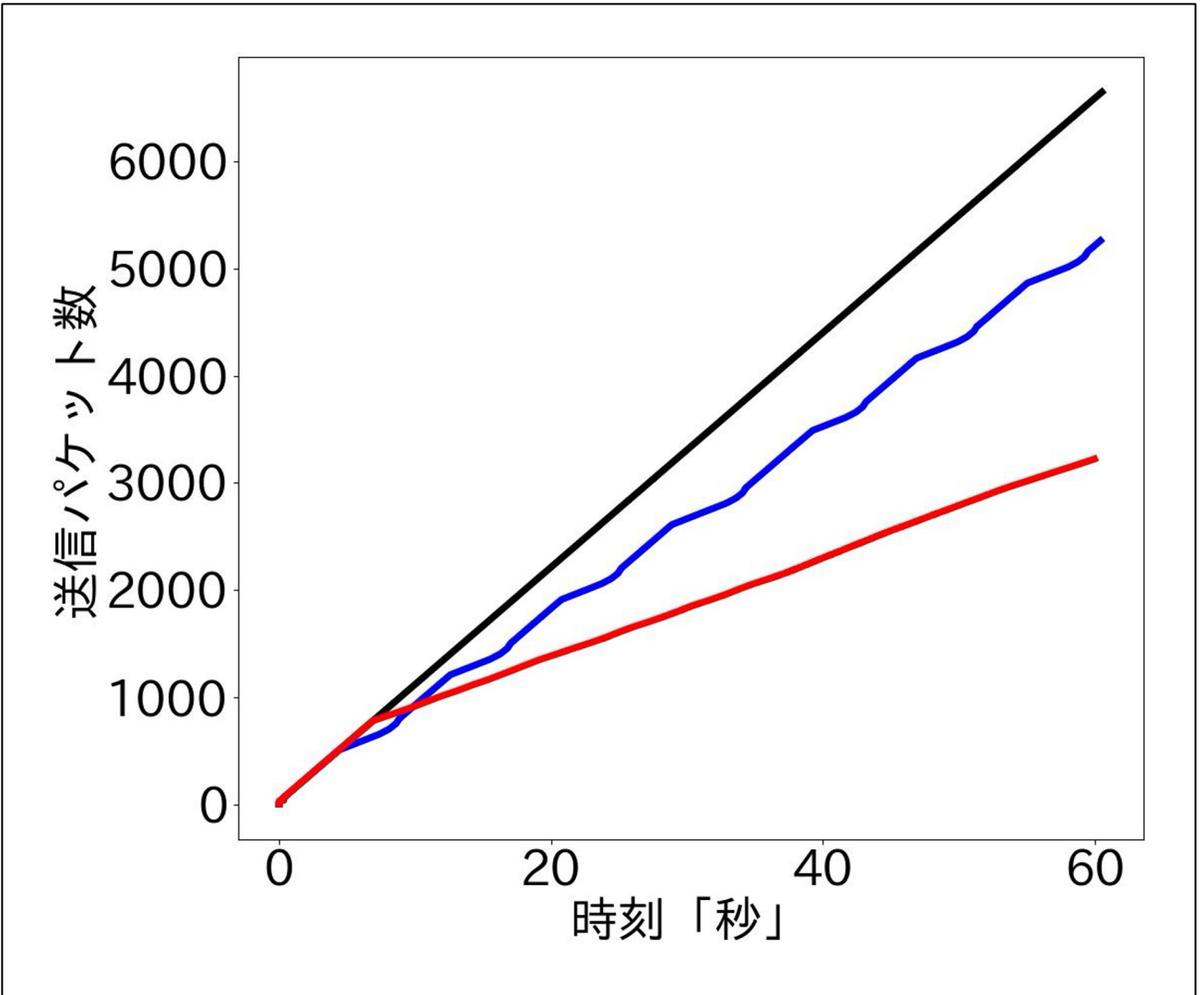
- AMR端末として、Raspberry Pi4を使用
- 帯域幅1Mbpsの2.4GHzアドホックWiFiチャンネル
- 待機時間の探索空間は0.002秒から0.02秒まで

比較スキーム

- ゼロ待機
- 有限差分
- X-多腕バンディット (XAB)[2]



AoIの比較



送信パケット数の比較

結論

- オンライン学習技術を利用して、送信データ量と受信者のAoI値を削減することが可能である

謝辞： 本研究は総務省SCOPE(JP235006102)の委託を受けております

参考文献

[1] Yates, R. D., Sun, Y., Brown, D. R., Kaul, S. K., Modiano, E., & Ulukus, S. (2021). Age of information: An introduction and survey. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 39(5), 1183-1210.
[2] Li, W., Wang, C. H., Cheng, G., & Song, Q. (2021). Optimum-statistical collaboration towards general and efficient black-box optimization. arXiv preprint arXiv:2106.09215.

