

# 複数台の浮流無線カメラを用いた 小口径下水管検査のための SRT ベース協調映像伝送プロトコルの性能評価

清水裕斗 Pham V. Thanh 石原進

静岡大学

## 1 はじめに

現在日本では、下水管の老朽化が深刻な問題となっている。これまでは下水管の検査に目視や、有線接続式自走ロボットを用いた手法がとられている。前者は危険であり、人的コストが高い。後者は機器のコストが高く所要時間も長い。そこで筆者らは、下水管路を安全、短時間、低コストで検査するための手法として、浮流無線カメラ（以下、浮流ノード）を用いた検査システムを提案している [1]。

本システムでは、図1のように下水管内に投入された浮流ノードが管内の映像を撮影し、下流のマンホール下に設置したアクセスポイント（AP）へ無線 LAN 通信を介して撮影映像を送信し、それを地上の検査員が閲覧し検査する。しかし、IEEE 802.11n 無線 LAN を用いた小口径下水管内（直径 200–250 mm 程度）での通信可能距離は、フレネルゾーンが遮蔽されるため 5 GHz 帯において約 16 m と制限があることがわかっている。

これまでに立花らは、下水管内全域の撮影映像を複数台の浮流ノードから AP へ欠けなくデータ送信するために SRT (Secure Reliable Transport) ベースの協調型映像伝送プロトコル SVTP2022 (Sewer Video Transmission Protocol) を開発してきた [2]。SVTP2022 を搭載した浮流ノードの性能評価として、一台の浮流ノードから AP への送信可能データ量の測定は行われているが、複数台の浮流ノードが管内映像区間を分担して送信した時の協調映像伝送性能の調査は行われていない。本稿では、地下に敷設された模擬下水管において SVTP2022 を搭載した複数台浮流ノードでの協調映像伝送データ量の測定実験に基づく性能評価について述べる。

## 2 SRT ベース協調映像伝送プロトコル

SVTP2022 では、図2に示すように AP への映像送信機会を増やすために複数台の浮流ノードを使用し、先行する浮流ノードが AP に対して送信できなかった残りの区間の撮影映像を後続の浮流ノードが送信する。浮流

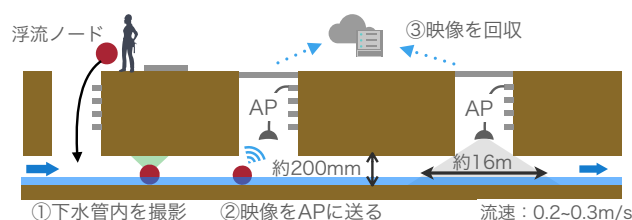


図1: 下水管検査システムの概要

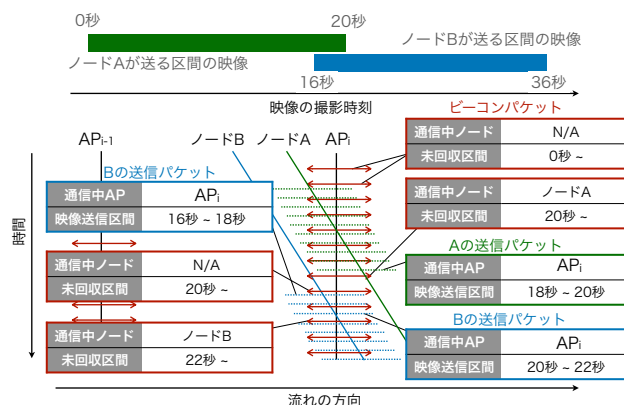


図2: 複数浮流ノードによる協調型映像伝送

ノードは、AP が 300 ms ごとにブロードキャストするビーコンパケットを受信することで自身が AP 通信可能範囲に入ったことを検知し、最初に受信した時刻を送信データ管理のための基準時刻とする。AP は映像回収できた範囲をこの基準時刻からの経過時間によって管理する。AP は未回収範囲を各浮流ノードが一定の速度で流れる仮定のもと推定し、映像未回収範囲情報をビーコンパケットに含めて広告する。後続ノードは、自身が送信すべき映像区間を、このビーコンパケットの情報により決定する。この時、後続ノードは映像区間の送信漏れを防ぐため、下水管内の映像区間を一部オーバーラップして送信する。

SVTP2022 では、複数の浮流ノードが同時に一つの AP と通信可能になった場合の映像データの同時送信を防ぐため、ビーコンパケットに現在通信中の浮流ノード ID を含めて送信する。浮流ノードはビーコンパケットのノード ID を確認し、自身の ID と一致しない場合は、AP が他の浮流ノードと通信中だと判断でき、自身は映像データを送信しない。AP は、現在通信中の浮流ノードから一定時間データを受信できなければ、その浮流ノードは AP 通信可能範囲を通り過ぎたと判断し、

Performance Evaluation of SRT-Based Cooperative Video Transmission Protocol for Small Diameter Sewer Pipe Inspection Using Multiple Drifting Wireless Cameras

Yuto Shimizu, Pham V. Thanh, and Susumu Ishihara  
Shizuoka University

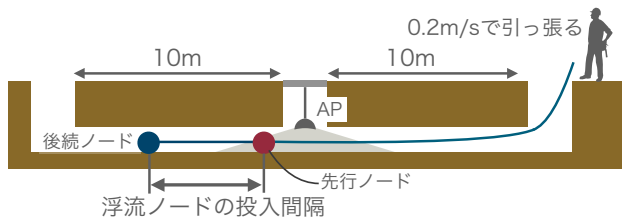


図 3: 実験方法

通信を打ち切る。これ以降ビーコンパケットにはその浮流ノードのIDを付与しない。実験ではAPが浮流ノードからのデータ送信を待つタイムアウト時間を300msに設定している。

SVTP2022は、端末間のリンク品質を向上させるために、映像転送部分にSRTを用いている。SRTはモバイル通信のような通信端末の移動などによりネットワークの帯域幅や遅延、ジッタが複雑に変化しても、安定して高画質な映像を遅延を少なくストリーミングするために開発された通信プロトコルである。

### 3 協調映像転送実験

#### 3.1 実験環境

実験は大学構内地下に敷設された直径200mmの塩ビ管で実施した。SVTP2022を搭載した2台の小型Linuxコンピュータ(Raspberry Pi Model 3B+)を浮流ノードとして用い、Raspberry Pi内蔵の無線機を使用して2.4GHz帯IEEE 802.11nでデータをAPへ送信した。APについても、浮流ノードと同様の小型Linuxコンピュータを用いた。MCSはいずれもautoとした。

実験では図3のように浮流ノードの移動速度が0.2m/sとなるようにロープを引いた。浮流ノードはAP通信可能範囲に入ると、浮流ノードとAPがアドホックモードで接続される。また浮流ノードの投入間隔に応じたAPへの協調映像伝送量を調査するため、浮流ノード投入間隔を2mと10mとし、2台のノードが接近している時と、十分に離れている時の映像転送量の比較を行った。なお、本実験で使用したプロトコルは、映像データのオーバーラップ機能は含めていない。

#### 3.2 実験結果と考察

図4、5にAPでの映像データ受信時刻(最初に受け取った時刻を基準とする相対時刻)に対する各ノードから受信した映像データ量合計の変化を示す。

浮流ノード投入間隔を10mとした場合は、先行ノードがAP通信可能範囲を完全に抜けたあとで後続ノードがそのAP通信可能範囲に入ったため、両者から同量の映像データを受信できた。2台の浮流ノードからの平均の合計データ受信量は88.7MBであった。

一方浮流ノード投入間隔を2mとした場合は、先行ノードがAP通信可能範囲を抜けていない状態で後続ノードもそのAP通信可能範囲に入ったため、後続ノードは先行ノードがAP通信可能範囲を抜けるまでAPへ映像送信することができず、2台の浮流ノードからの合計データ受信量は投入間隔10mの時と比べ、小さくなった(平均の合計データ受信量は34.2MB)。また投入間隔が2mの場合は、3回目の実験データのように

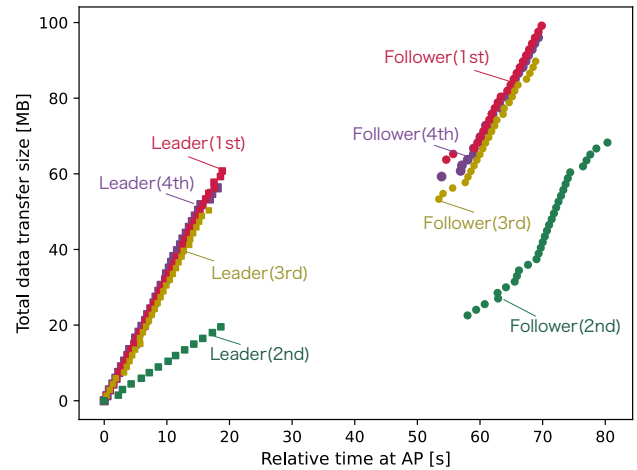


図 4: ノード投入間隔 10 m

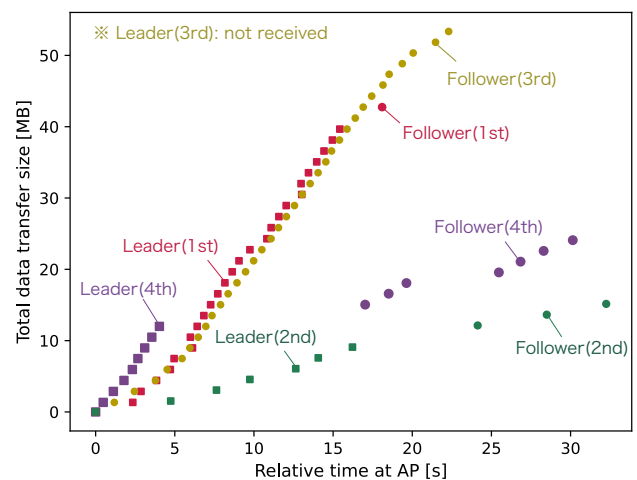


図 5: ノード投入間隔 2 m

後続ノードからのみ受信するという結果も見られた。これはRSSIが大きく変動する小口径下水管内において、後続ノードの地点の方が先行ノードの地点よりもRSSIが高く、先にAPからのビーコンパケットを受け取ってしまったことが原因だと考えられる。

### 4 まとめ

浮流ノードを用いた下水管検査システムにおいて、SVTP2022を搭載した複数台浮流ノードの協調映像転送性能を評価するために、複数台浮流ノードの2パターン(2mと10m)の投入間隔における映像データ転送量の比較実験を実施した。その結果から、浮流ノードをAP通信可能距離以上に十分間隔を広げて投入することで、APで受信できる映像データ量の合計が大きくなることが明らかとなった。今後は映像送信する前にRSSIに関して適切な閾値を設定し、通信が安定した状態で送信開始する仕様とすることで、送信可能な映像データ量を向上させる予定である。

### 参考文献

- [1] 石原, 他: 下水管路検査用浮流型無線ネットワークシステムの実現技術, 情処研報, Vol. 2017-DPS-172, No. 4, pp. 1-8, (2017).
- [2] 立花, 他: 小口径下水管内における高信頼性UDPベースプロトコルを使用した際のデータ転送性能, 信学技報, vol. 121, No. 266, SeMI2021-31, pp. 7-12, (2021)