

複数の浮流ノードを用いた マルチホップ無線映像伝送システムの提案

長島大貴[†] 中島竜太郎[†] 石原進^{††}

[†]静岡大学工学部 ^{††}静岡大学大学院工学研究科

1 はじめに

近年、日本では高度経済成長期に大規模に整備した管路施設の老朽化が目立ち、平成24年には約3900件の道路陥没事故が発生している[1]。下水管維持においては目視や、有線接続した自走ロボットによる調査が行われている。これらはいずれも管内の映像をリアルタイムで見ることができるとして調査の確実性に優れるが、金銭的、人的に高いコストが伴う。また、近年考案された浮流式ビデオカメラを使った調査[2]は、有線接続を使わず録画のみを行うので機器の取り回しが容易であり金銭的、人的コストが低いが、一方でカメラ映像をリアルタイムで確認することができないため、作業の確実性に欠ける。浮流式カメラを使った調査で無線によるリアルタイム映像伝送ができれば、機器コスト、取り回しの容易さ、人的コストに関する利点を残したまま観測状況をリアルタイムに把握可能となり、調査の確実性を向上できると考えられる。本稿では、複数の中継ノードを用いることで、浮流カメラノードからのリアルタイム映像伝送を行うシステムを提案する。また実際の下水道を用いたパケット伝送実験に基づき、下水道管内の通信可能距離について考察する。

2 下水管内の長距離リアルタイム映像伝送システムの提案

本システムは図1に示すようにカメラノード、中継ノード、アクセスポイント（AP）によって構成される。カメラノードは下水道管内を撮影し、得られた映像データをAPへ伝送する。カメラノードの通信可能距離にAPが存在しない場合、カメラノードは中継ノードを介してAPへ映像データを伝送する。APはカメラノード、中継ノードから伝送された映像データを受け取り、有線ないしは無線による通信により作業者に対して管内

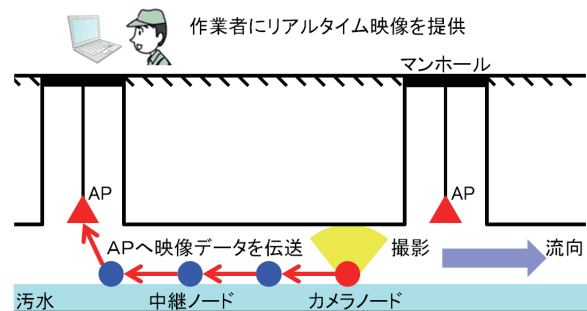


図1: 複数の浮流ノードによるマルチホップ映像伝送

のリアルタイム映像を提供する。排水溝から下水処理場までの間には様々な口径の下水道管が存在しているが、本研究は常に一定の水量が流れている口径250mm以上の下水道を想定している。この口径の管は、日本の下水道の幹線によく用いられているものである。

本システムの利点は2点ある。1点はカメラノードとAP間の1ホップ通信では困難な映像データの長距離リアルタイム伝送が実現できることである。管内のノードの通信可能距離は地上に比べて短いため、映像データの伝送距離は制限されるが、複数のノードを中継ノードとして映像データのマルチホップ通信を行うことで、映像データの伝送可能距離を延長することができる。もう1点は金銭的、人的コストが低いことである。本システムにおいて使用する各センサノード、APはカメラや無線、バッテリー等自走ロボットと比べて必要な機能が少ないため、安価で実現できる。また調査を開始するために必要な作業は、マンホール下にAPを設置すること、ノードを投入すること、APから提供される管内のリアルタイム映像を確認することであり、目視による調査のように人が管の中に入って作業する必要がなく、自走ロボットによる調査のように有線ケーブルの取り回しや管内の止水等手間のかかる作業がない。

本システムの実現のために2点の課題がある。1点はノード間隔の変化、故障への対応である。管内を流れるノードは、汚水によって非自律的に移動するため、自身の流速や進行方向を変えることができない。このため、通信可能距離内に中継ノードが存在しないこと

Proposal of a multi-hop wireless video transmission system using multiple drifting nodes

Taiki NAGASHIMA[†], Ryutaro NAKAJIMA[†], Susumu ISHIHARA^{††}

[†]Faculty of Engineering, Shizuoka University

^{††}Graduate School of Engineering, Shizuoka University

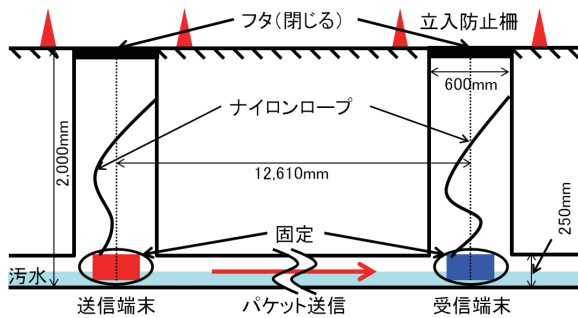


図 2: 下水道環境を用いた実験



(a) 端末の設置作業

(b) 端末の設置

図 3: 実験風景

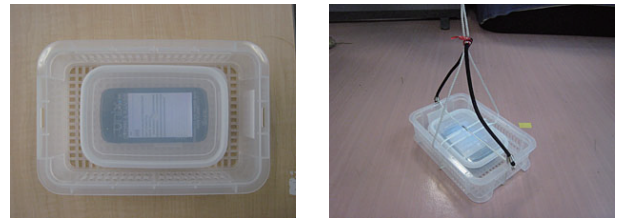
や、中継ノードの故障により、カメラノードから AP までの通信経路が断絶されてしまう。もう 1 点はノードの通信可能距離の短さである。マンホールは、通常鉄製の蓋によって閉じられ、下水管内は閉鎖空間となっている。また下水管内には汚水の他に木根があったり、土砂、汚物などが堆積していることがあり、電波の減衰要因が多い。さらに典型的な下水管の素材である塩化ビニルによる電波の減衰は少ないが、その外側には水分を含む土砂が存在し、マイクロ波が吸収される可能性が高い。このことから、下水管内におけるノードの通信可能距離は地上に比べて短くなると考えられる。これらの問題に対応するためには、下水管内の通信可能距離を実測やシミュレーションにより推定し、それを基にノード間隔の変化に対応するノードの投入間隔の調整や、故障ノードを回避するような経路選択方法を設計する必要がある。

3 下水道環境における受信信号強度計測実験

ノードの通信可能範囲推定のため、実際の下水道で IEEE802.11g 無線 LAN でのデータパケットの送受信を行い、受信信号強度を計測した。

3.1 実験環境

静岡大学浜松キャンパス内の下水道で実験を行った。図 2, 3 に示すようにマンホール間隔 12,610mm、深さ 2,000mm に口径 250mm の VU 管（薄肉塩ビ管）が配管されている場所で、マンホール上部から下水管へナイロンロープを用いて送受信端末の入ったミニバスケットを下ろし、配置した。測定中は常にマンホールが閉



(a) 端末の密封状態

(b) ナイロンロープ取り付け

図 4: 端末の格納方法

じられた状態とした。図 4 に示すように、端末はポリエチレン製のシール容器で密封し、ポリエチレン製のバスケットの中央に配置した。端末は 2 台の Android 端末（富士通の ARROWS Me F-11D）IEEE802.11g 無線 LAN（2.437GHz）を用いた。送信端末は、受信端末に向けて UDP ユニキャストで 100bytes あるいは 150bytes のデータパケットを毎秒 1 個 3 分間送信した。ビットレートは自動設定とし、MAC 層での再送回数は最大 7 回とした。出力は 10mW とした。

3.2 実験結果

下水道環境（端末間距離約 12m）において、受信端末は送信端末から送信された 100bytes および 150bytes のデータパケットを 3 分間 1 つも受信することができなかった。このことから、管内におけるノードの通信可能範囲は 12m よりも短いことがわかった。ただし、管内における電波の反射によって局所的に受信信号強度が低下している可能性もある。なお、事前実験として両端を同一素材のキャップで密閉した長さ 30cm の VU 管の内外で同様の端末を用いて通信させたところ、端末間距離 20m においてもパケットロス率は 1% 未満であった。したがって、埋められた下水道管内の環境によって大幅に通信条件が悪化したと考えられる。

4 まとめ

本稿では、調査範囲の上流から複数のセンサノードを流すことで、管内を調査するシステムを提案した。また、実際の下水道で 2.4GHz 帯無線 LAN の通信実験を行った。この結果より、下水道における 2.4GHz 無線 LAN での通信可能距離は出力 10mW で 12m 未満と推定できた。今後異なる周波数帯、アンテナ、通信区間での実験を行い、適切な通信条件を調査する予定である。

参考文献

- [1] 国土交通省 下水道管路施設に起因した道路陥没件数の推移 <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/seweraage> 2013 年 12 月確認
- [2] 関野勇: ストリーム・カメラシステムによる幹線管まきの TV カメラ調査について, 月刊下水道, vol.34, No.3, pp.55-58 (2011)