

# 浮流観測ノードを用いた下水管内映像無線伝送システムの試作

田中悠大<sup>†</sup> 長島大貴<sup>‡</sup> 石原進<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>静岡大学工学部 <sup>‡</sup>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整備された下水管の老朽化が問題になっている [1]。下水管調査においては目視、有線接続された自走ロボットによる検査が行われている。これらは下水管内をリアルタイムで確認することができ、検査の確実性に優れるが、人的、金銭的成本が高い。近年考案された浮流式ビデオカメラによる検査は、有線接続を行わず下水管内の録画のみを行うため、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、検査中にカメラの映像を確認することが出来ないため検査の確実性に欠ける。

筆者らは、低コストで安全に検査が行える浮流式カメラの利点を残しつつ、確実に下水管内を検査する方法として、複数の浮流ノードを用いた映像伝送システムを提案している [2]。本稿では、下水管内の通信条件と検査者側の要望に即して、映像データのストリーム送信と蓄積型送信を組み合わせた映像伝送戦略を提案する。また、下水管内部での無線通信実験の結果に基づいて行った同システムのプロトタイプ設計について述べる。

## 2 下水管内無線映像伝送システム

本システムは図1のようにカメラノード、中継ノード、マンホール下に設置されたアクセスポイント (AP) によって構成される。カメラノードは下水道を浮流しながら管内映像を撮影し、AP への映像伝送を試みる。このとき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。中継ノードは、カメラノードが撮影した映像を AP に伝送する。AP は、受信した映像データを有線あるいは無線を介して作業者に提供する。本システムは、撮影した映像を作業者が確認できるため、作業者の負担が少なく、安価に調査ができ

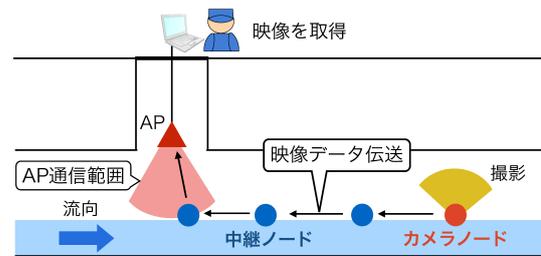


図 1: 下水管内映像伝送システム

るといふ浮流式カメラの利点を残しつつ、確実な下水管検査を行うことができる。

本システムでは、複数ある AP と各ノードの位置関係が変化していくため、転送先の AP を切り替える必要がある。転送先 AP の切り替えを適切なタイミングで行わなければ、すでに接続が切れている AP へデータ伝送を行うことにより、データがロスする危険性がある。このため、適切なタイミングでの中継ノードを介した通信経路の変更が必要である。

今日、浮流カメラを使った下水管の簡易検査を行っている自治体は、映像データの全保存を行っているため、検査終了時には高品質な映像を回収できることが望まれる。また検査者には、検査の進行状況を確認したり、速やかに詳細調査などの次の段階の作業に移るため、現在の撮影状況を確認したいという要望がある。これら 2 つの要望は、カメラノードが撮影した高品質な映像データを常に AP に送信できれば実現できる。しかし、見通し空間の広さが限られた下水管内部では、電波による通信範囲が限られる。したがって、AP の近くでは一時的に通信状態が良くなり高速なデータ転送が可能となるが、それ以外では、通信が出来ないか、通信速度が大幅に制限されることになる。

この通信上の条件の中で検査における 2 つの要望を満たすため、以下のような戦略を用いる。カメラノードは定常的に低いビットレートで送信可能な低品質動画をストリームで送信する。これと同時に、高品質なビデオ映像データを自身のストレージ上に蓄積する。ノードは、AP との接続状況が一時的に良くなった期間に、高いビットレートで高品質映像データをまとめて AP に転送する。

Experimental implementation of a wireless monitoring system for sewer pipes using drifting sensor nodes

Yudai TANAKA<sup>†</sup>, Taiki NAGASHIMA<sup>‡</sup> and Susumu ISHIHARA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Faculty of Engineering, Shizuoka University

<sup>‡</sup>Graduate School of Engineering, Shizuoka University

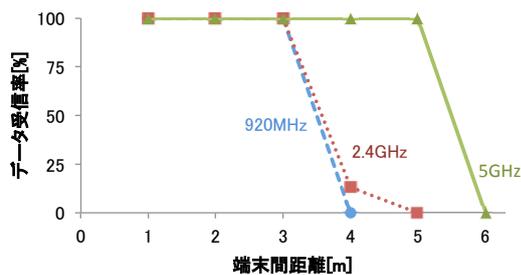


図 2: 各周波数帯のデータ受信率

### 3 下水管内無線通信実験

下水管内での無線通信可能距離を把握し、提案システムで使用する周波数帯を選定するため、土中の実験用下水管 (VU 管) において、920MHz, 2.4GHz, 5GHz 帯をそれぞれ利用する無線端末でデータを送受信し、データ受信率を測定した。実験環境は、長さ 8m, 口径 200mm の下水管を土中に埋め、水位 4cm となるように水を入れることで下水道環境を模擬したものである。送信端末はデータサイズ 100bytes のデータを 1 秒間隔で 180 回受信端末に送信した。無線端末が備えるアンテナはすべて無指向性のものとした。送信電力は、国内で利用できる最大値である 10mW を使用した。920MHz 帯の測定には、東朋テクノロジー株式会社の TMJ0914 低消費電力無線モジュール使用し、このモジュールの独自プロトコルで通信した。2.4GHz 帯の測定では IEEE802.15.4 規格、5GHz 帯の測定では IEEE802.11a 規格を使用した。

図 2 に示すように、5GHz 帯の無線通信可能距離が 3 つの周波数の中で最も長く、下水管内で 5m まで通信可能なことが確認できた。高周波な電波ほど第 1 フレネルゾーンが狭まるため、見通し空間が確保できたことが大きな要因であると考えられる。周波数が高くなるとフレネルゾーンが小さくなる反面、伝搬損失は大きくなる。このため、フレネルゾーンが小さくても、伝搬損失が大きければ障害物の有無に関係なく通信距離可能な距離は短い。このような理由と今回の実験結果より、ISM 帯のデバイスを利用する場合、提案システムには 5GHz 帯での通信が最も適切であると考えられる。

### 4 下水管内映像無線伝送システムの試作

無線通信実験の結果に基づき、提案システムの簡単なプロトタイプ的设计について議論する。

#### 4.1 システム構成

試作システムは地上のノート PC と下水管内のカメラノード、マンホール下の AP によって構成される。カメラノードと AP は無線 LAN インタフェースを搭載

し、アドホックモードで通信を行う。ノート PC は AP と LAN ケーブルで接続し、AP を介してカメラノードから送られるストリーム映像の再生と、高画質映像の蓄積を行う。

#### 4.2 試作システムの要件

本システムのノードは下水管内を浮流するため、小型で軽量でなくてはならない。また、機能面では、5GHz 帯での通信機能、映像データの伝送機能が必要になる。カメラノードはこれに加えて映像撮影機能を備える。ノードは、ストリーミング用のプロトコルを用いた低画質の映像を配信するとともに、一定間隔ごとに AP との接続状況を確認し、高画質な映像を蓄積しておく。十分な帯域幅が確保できるときは、蓄積された高画質な映像を送信する。

#### 4.3 試作ノードの設計

3 章で、5GHz 帯が比較的下水道環境に適していることが確かめられたため、提案システムの通信周波数帯には 5GHz 帯を利用する。ノードの本体には Linux OS 搭載の小型コンピュータである Raspberry Pi を使用し、カメラには Raspberry Pi 専用カメラモジュールを用いる。通信機器は、Raspberry Pi が USB ポートを備えていることから、IEEE802.11ac/n/a/b/g で通信が可能な PLANEX GW-450DUSB 小型無線 LAN ドングルを利用する。これらの機器を用いて、アドホックモードでのカメラノード、AP 間の接続を行い、カメラで撮影した画像を VLC Media Player を用いてノード間でストリーム転送できることを確認している。

### 5 まとめ

下水管内映像伝送システムの設計するため、土中の実験用下水管において複数の周波数帯で無線通信実験を行い、5GHz の通信品質が比較的良好なことを確認した。また、下水管内の通信条件と検査者の要望に即して、映像データのストリーム送信と蓄積型送信を組み合わせた映像伝送戦略を考案した。実験結果と考案した戦略をふまえて、下水管内映像伝送システムの簡単なプロトタイプ的设计について検討を行った。今後は、試作システムの実装、および模擬下水管内での映像の撮影と伝送の実験、評価を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 国土交通省: 下水道 計画的な改築・維持管理, [http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd\\_sewage\\_tk\\_000135.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000135.html) (2015/1/5 確認)。
- [2] 長島大貴, 中島竜太郎, 石原進: 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, 第 76 回情報処理学会全国大会, 3W-4 (2014)。