

5GHz帯無線LAN通信を用いた下水管内無線伝送品質の測定 -802.11nの場合-

武居悠樹† 田中悠大‡ 石原進§

†静岡大学工学部 ‡静岡大学大学院科学技術研究科工学専攻 §静岡大学学術院工学領域

1 はじめに

日本では下水管の老朽化が進み、その検査と整備は急務となっている。現在、下水管検査は主に、目視検査や、有線カメラ、船形カメラ、自律走行カメラなどを用いた手法によって行われているが、これらは、金銭的コストが高い、検査時間が長いなどの問題を抱えている。筆者らは、短時間・低コストの検査を可能とする下水管検査手法として、小型無線通信ノードを用いて管内映像を回収する流れるセンサネットワークを提案している [1]。このシステムでは、下水道上流のマンホールから投入した浮流カメラノードが管内を撮影し、その映像を、下流のマンホール下のアクセスポイント (AP) へ無線電波通信で伝送する。下水管内は、内部を流れる汚水や外部の土砂などによる電波の減衰が激しく、ノードと AP はごく近距離に限られた範囲でのみ通信が可能となる。

下水管環境での無線通信品質については、これまでの計測によって、出力 10mW では 5GHz 帯を使用すると、920MHz 帯、2.4GHz 帯を使用した場合に比べて無線通信可能距離が長くなること、IEEE 802.11a 規格による通信では最大 36Mbps 程度のスループットが得られることなどがわかっている [2]。しかし、図 1 の 2 つの AP 間で撮影される映像のデータ量は、AP 間の距離が 100m の時、映像を 10Mbps でエンコードした場合 125MByte 程度になり、このデータを AP の通信可能範囲内で送信するためには最低でも 62.5Mbps 以上のスループットが必要である。

5GHz 帯を使用する後発の無線 LAN 規格である IEEE 802.11n では、チャンネルボンディングや複数ストリーム通信などの新たな技術によってさらなる高速化が図られている。そこで、模擬下水管環境内で IEEE 802.11n を用いた実験により、以下の 2 種類の

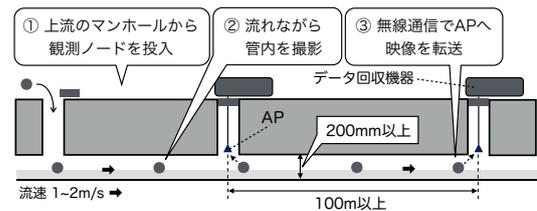


図 1: 流れるセンサネットワーク

方法によるスループット向上効果を検証した。

1. チャンネルボンディングを利用した帯域幅 40MHz のチャンネルによる通信
2. 2つのインターフェースを用いた帯域幅 20MHz のチャンネル 2つによる並列通信

2 下水管内無線通信実験

2.1 実験条件

通信端末として RaspberryPi B とそこに接続した Planex 製の USB 無線通信 Dongle GW-450D (チップセットは MediaTek 製の MT7610U) を使用した。無線通信プロトコルには IEEE 802.11n を使用し、MCS を 7 (64QAM 変調, 符号化率 5/6) に設定して、アドホックネットワーク上で通信を行った。スループットの計測には iperf を使用した。1 地点の計測ごとに、TCP モード、UDP モードそれぞれで 10 秒間のスループット計測を 10 回ずつ繰り返し、測定値の平均値を求めた。

模擬下水管環境として、畑の地下 40cm に口径 200mm、長さ 12m の塩ビ管を設置した。この塩ビ管内で、端末間距離を 2m から 10m まで 2m おきに変化させながらスループットを計測した。

2.2 チャンネルボンディングのスループット向上効果

20MHz 幅のチャンネル (中心周波数 5.18GHz) と、チャンネルボンディングを用いた 40MHz 幅のチャンネル (同 5.18GHz と 5.20GHz) を使用した通信のスループットを模擬下水管環境で測定した。図 2 に計測の結果を示す。40MHz 幅のチャンネルの通信のスループットは、端末間距離が 2m と 4m の時、20MHz 幅チャンネルの通信

Measurement of quality of wireless transmission in sewer pipes using wireless LAN communication in 5GHz band -A case of 802.11n-

Yuki TAKEI†, Yudai TANAKA‡ and Susumu ISHIHARA§

†Faculty of Engineering, Shizuoka University

‡Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

§College of Engineering, Academic Institute, Shizuoka University

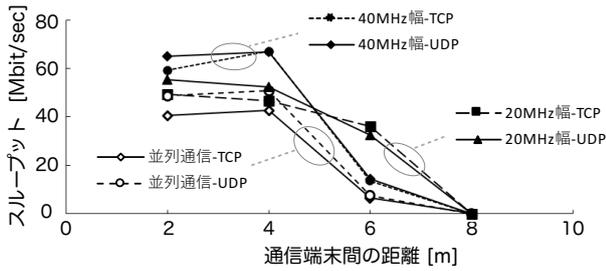


図 2: 下水管環境内での端末間距離とスループットの関係

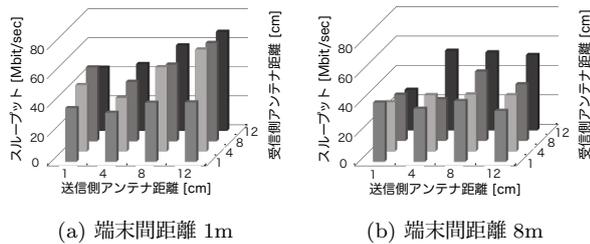


図 3: アンテナ間距離とスループットの関係 (室内)

のものを上回っているが、6m 地点からは大きく減少し、逆に 20MHz 幅の通信のものを下回っている。チャネルボンディングの利用時には、多くのサブキャリアを使うことでエラーの発生確率が高まり、また、サブキャリアあたりの送信電力が半分になることでビットエラー率も上昇する [3]。これらの特性のために、端末間距離の拡大に伴う通信品質の悪化の影響を受けやすいことが、スループットの低下の大きな原因であると考えられる。

2.3 2チャンネル並列通信のスループット向上効果

IEEE 802.11n が使用する 5GHz 帯では、チャネルは互いに干渉が起きないように配置されているが、実際は、帯域幅外に広がってしまう送信電力によって、近接チャネル同士の干渉が発生する。そこで、模擬下水環境での実験の前に 2 つのインターフェースを用いる場合の適切なアンテナ間距離を決定するため、室内で 2 つの 802.11n 通信 Dongle を取り付けられた 2 つの端末間の通信速度を測定した。通信 Dongle は USB 延長ケーブルを使って Raspberry Pi に接続し、同一端末上のアンテナ間距離を 1cm から 12cm まで変化させた。アンテナ間の距離の最大値は、管径 20cm の下水管内に入る筐体の大きさから決定した。各 Dongle で使用する通信チャネルは、W52 帯の 36Ch と 44Ch とした。

図 3 に計測の結果を示す。送信側端末でも受信側端末でも、アンテナ間距離が短くなるほどスループットが減少している。これは、別チャネルを使用するアンテナ間の距離が短くなることにより、別チャネルの電波

を検知することによる送信待機の頻度が高くなり、送信機会が減少したことによるものと考えられる。また、通信端末間の距離が長い時、受信側のアンテナ間距離を短くした時のスループット低下が顕著である。これは、受信側の端末で、一方のアンテナが発する電波によるもう一方のアンテナの受信への干渉が起きやすくなったことによるものと考えられる。

次に、室内実験と同じ通信端末を使用し、模擬下水管環境で、アンテナ間距離を固定して、2 つの異なるチャネルで並列に送信を行った場合のスループットを測定した。アンテナ間距離は、送信側も受信側も、予備実験の計測結果で最も高いスループットを得られた 12cm とした。

図 2 に計測の結果を示す。チャネル 2 つを使用した同時通信のスループットは、単一チャネルの通信のスループットよりも小さくなっている。これは、アンテナ 1 つ 1 つの位置が管の中央から大きく離れたことで、下水管外の土砂などへの距離が近くなり、通信の見通しを確保しにくくなったことの影響が大きいと考えられる。また、アンテナが管の内面と近くなったことで、一方のアンテナの電波の反射波がもう一方のアンテナの電波と干渉を起しやすくなったことも、原因の 1 つとして考えられる。

3 まとめ

IEEE 802.11n 規格を利用した 2 種類の通信の下水管環境でのスループット向上効果を、模擬下水管環境での通信実験に基づいて検証した。端末間距離 4m までの近距離では、チャネルボンディングを用いた帯域幅 40MHz のチャネルを使用した通信が最も大きいスループットを示した。一方、端末間距離が 6m よりも長い場合には、帯域幅 20MHz の単一チャネルの通信のスループットが最も大きくなった。チャネルボンディングを使用した通信は、信号品質が悪い場所での性能悪化が著しいため、AP の通信可能範囲内における総転送可能データ量を最大化しようとする場合には、その利用は必ずしも効果的とは言えないと考える。今後は、より小さい MCS での通信の品質を検証するとともに、計測結果に基づいて効果的なデータ転送戦略を検討する予定である。

参考文献

- [1] 石原進: 間欠通信を行う流れるセンサ群からの情報収集に関する一考察, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol 2010-MBL-56, No. 22, pp. 1-7 (2010).
- [2] T. Nagashima, : Measurement of Wireless LAN characteristics in sewer pipes for sewer inspection systems using drifting wireless sensor nodes, *IEICE Trans. on Communications*, Vol E99-B, No 9, pp. 1989-1997 (2016).
- [3] M.Y. Arslan, et al., Auto-configuration of 802.11n WLANs, *ACM CoNEXT 2010*, 2010.