

# データプラットフォームへの データ供給効率化に関する基礎的研究

亀田 敏弘<sup>1</sup>・中川 佳大<sup>2</sup>・中川 諒<sup>3</sup>・大町 正和<sup>4</sup>・梅本 秀二<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)  
東京大学特任研究員 i-Construction システム学寄付講座  
E-mail: kameda@kz.tsukuba.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>非会員 筑波大学研究員 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)  
E-mail: nakagawa.yoshihir.gm@un.tsukuba.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究群情報理工学位プログラム  
(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)  
E-mail: s2120622@u.tsukuba.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 (株)計測リサーチコンサルタント 事業推進部 (〒732-0029 広島県広島市東区福田1丁目665-1)  
E-mail: oomachi@krcnet.co.jp

<sup>5</sup>正会員 (株)計測リサーチコンサルタント 事業推進部 (〒732-0029 広島県広島市東区福田1丁目665-1)  
E-mail: umemoto@krcnet.co.jp.

AIへの活用のみならず、社会基盤の各種データへの大量供給のニーズは今後ますます高まることが予想され、データの詳細度を高めるためにデータプラットフォームへのデータ供給を効率化することが求められている。本研究では、計測されたデータの供給の自動化と即時多方面利用を実現可能な手法として、MQTTプロトコルの活用に着目して、LPWAによる自動データ計測と組み合わせた場合の自動計測データ供給の効率化について検討を行った。データ配信時のセキュリティ確保については、LoRaWANのAES暗号化手法に加えてMQTTのTLS接続を用いた。また、計測とデータ供給を行うプロトタイプを構築し、公開プロトコル仕様であり、1対多の接続が可能であるMQTTの特徴を生かした社会基盤データのリアルタイム供給の可能性を検討した。

**Key Words:** *measurement, infrastructure data platform, MQTT, data supply, LPWA*

## 1. はじめに

社会基盤のデータ活用が注目されており、データポータルとしての国土交通データプラットフォーム<sup>1)</sup>、3D都市モデル活用に向けたPLATEAU<sup>2)</sup>が、国土交通省から公開されている。現状では、データプラットフォームで供給されるデータは限定的であり、デジタルツインの外形がようやく準備された段階である。今後、AIへの応用はもちろんのこと、防災やリスク評価といった様々な分野に対してこれらのデータ利用基盤を活用して、設計から供用、維持管理に至るまで、時間とともに変化する社会基盤をサイバー空間に構築するためには、時間と場所の関数である社会基盤の諸データを大量に供給・蓄積し、流通させることが極めて重要である。蓄積されたデ

ータの流通に関しては、藤本らによってオープンデータ化を見据えた管理手法が提案されている<sup>3)</sup>。また、近年のIoTデバイスを活用した局所的な計測とデータ収集については、関谷ら<sup>4)</sup>、小林ら<sup>5)</sup>によって報告されている。しかしながら計測した社会基盤データを効率的に供給するための手法に関して言及した研究は著者らの知る限り見つからない。著者らは、社会基盤データを継続的かつ大量に供給するためには、通信の低コスト化とともに特定の事業者依存せずに設計・開発・改良が行える自由度の高い汎用性が重要と考え、LoRaWANの活用<sup>6)</sup>を提案してきた。

本研究では、データ供給の効率化のための要件について検討を行うとともに、実現可能な候補の一つとして、複数の利用者に自動的にデータ供給が可能なLoRaと



図-1 支承の腐食が観察された例



図-2 防水型変位計

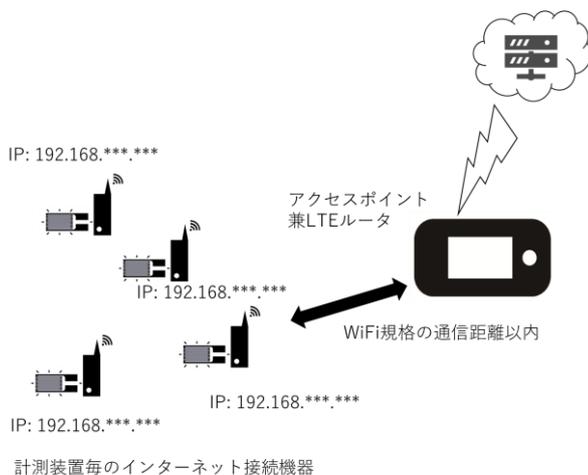


図-3 WiFiを用いたデータ集約方法

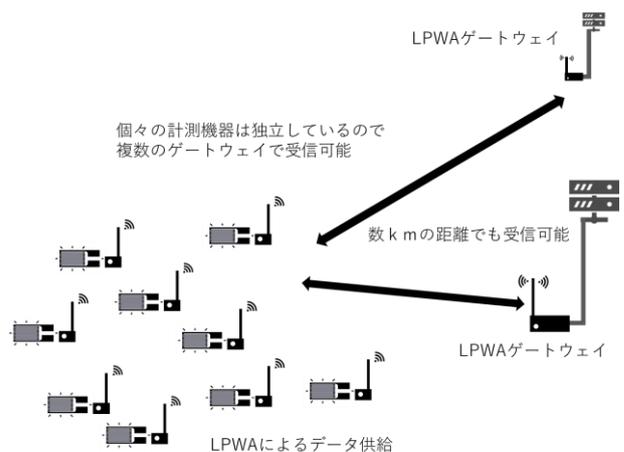


図-4 LPWAを用いたデータ集約方法

MQTT を活用した自動計測システムを提案し、プロトタイプを用いてその可能性を検討した。

## 2. 計測データ供給の現状と課題

橋梁の損傷は、例えば支承の損傷であれば図-1のように観察され、この例であれば、桁と橋脚の相対変位を計測して支承の状況を把握することを目的として図-2のような防水型変位計が用いられる。計測データの記録にデータロガーを用いる場合には、一定時間ごとに記録メディアを回収したり、サーバ機能を持つロガーであればインターネットを介してダウンロードするなどして、計測データを回収することとなるが、データの常時供給が目的ではないため、自動的にデータを広く共有して多目的に活用することは想定されておらず、手動で収集されたデータが USB メモリや CD-ROM に記録されて、物理メディアで流通するケースも少なくない。また、データベースが存在しない場合などには、パスワードをかけたファイルを電子メールで直接交換したり、クラウドストレージを介して交換したりすることが一般的であり、これ

らは自動化されていないため、データの大量自動供給は実現していないのが現状である。

河川分野における計測データのうち、水位や流量といった代表的なものは、水門水質データベースに蓄積されているが、公式 API が存在せず、手動でのダウンロードが前提であるため、シミュレーションインプットの自動生成など、人手を介さない自動化のためのデータ供給を実現するためには、URL のクエリ文字列（URL の末尾に付与する文字列）を用いたスクレイピング手法が必要となるなど不便な点がある。また、定期縦横断測量データなど、電子納品されているがデータベース化されていないものについては、物理メディアを介したデータ流通となり、効率的に供給できる状況に至っていない<sup>7)</sup>。

こうした現状を改善して、データ供給の効率化を実現するために、本研究では以下の要件を満たすデータ供給手法について検討を行った。

- (1) データ供給の自動化とコストの低減
- (2) 利用者のニーズに応じた汎用性
- (3) データ配信時のセキュリティ確保

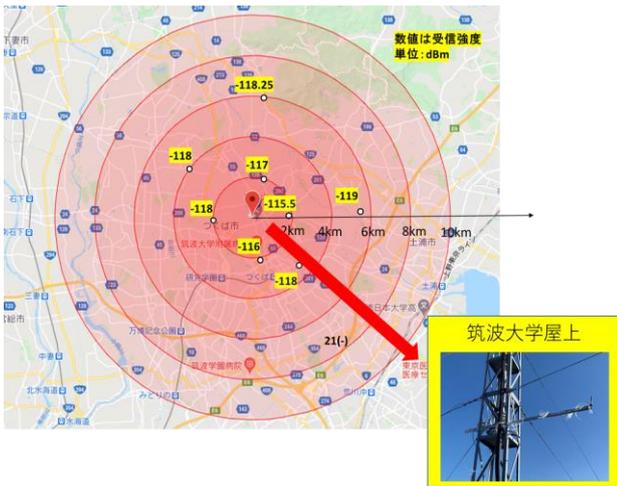


図-5 LoRaの到達範囲調査結果

### 3. 改善のための手法と技術

#### (1) データ供給の自動化とコストの低減

社会基盤構造物は数が多く、各々に対して必要な計測点の数も多い。配線を用いる場合には敷設と維持に多大な労力を要するため、データ収集は無線を用いることが好ましい。データ供給を自動化するためには、計測システムが自立した通信機能を有していることが必要であるが、計測点毎に携帯電話回線によるデータ通信を行うことはコスト面から得策ではない。簡便な方法としては、図-3に示すように、計測したデータをWiFiでアクセスポイントに集約した後に携帯電話回線によるデータ通信を行う方法が考えられるが、アクセスポイントに不具合が発生すると、社会基盤全体のデータ供給が停止する脆弱性がある。また、データ供給先の情報を個々の計測装置において管理する必要があり、将来の計測装置システムの維持管理の手間が懸念される。

対策として、LPWAの利用が考えられ、図-4に示すように、個々の計測点は独立したLoRaエンドデバイスとしてデータ供給を行うため、複数のゲートウェイによる受信が可能であり、WiFiの場合のような脆弱性が発生しない。また、計測データの送信時以外は機器をスリープさせることで消費電力を削減して、太陽電池とバッテリーによる自立自動観測が可能であり、屋外設置が要求される社会基盤構造物の計測に適していると考えられる。LoRa変調されたデータ通信はWiFiと比較すると最速で数十kbpsと低速であるが、数km到達することが報告されている。したがって、WiFiのアクセスポイントに相当するゲートウェイは計測対象の社会基盤構造物の存在する地点に配置する必要はなく、近隣の事務所など、既設のインターネット回線が存在する地点に設置することも可能であり、その場合は携帯電話回線などの追加の通

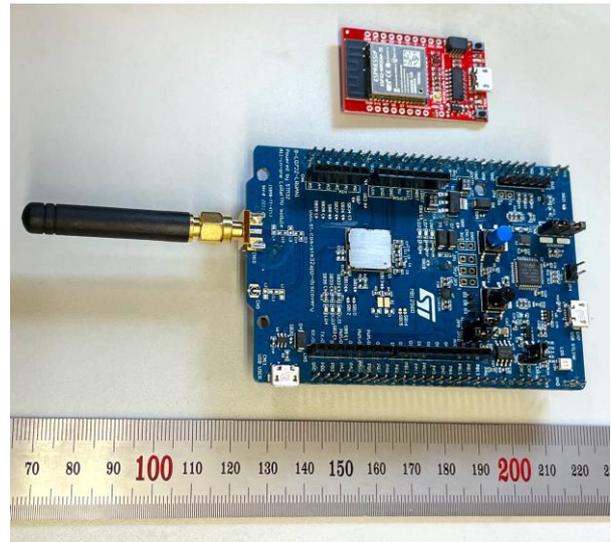


図-6 受信モジュールと送信モジュール

信コストは発生しない。また、LoRa方式を用いる場合には、免許が不要であり、規格がオープンであるため、導入時の通信デバイスのコストのみが発生し、電波利用料やソフトウェアライセンス料も発生しない。本研究では、到達距離把握のために筑波大学内の12階建ての総合研究棟B棟と周辺の地上との間でLoRa通信の状況を計測した。到達範囲を調査した結果を図-5に示す。図中の数字は受信モジュールからの受信ログに記録された受信強度(RSSI)を示している。実測の結果、見通しが確保されている場合には6kmの距離であっても通信が確立することが確認できた。逆に、見通しが確保されない場合には、2~3kmであっても不通であったり通信が不安定になることが判明した。図-6に、本研究でゲートウェイに用いた受信モジュール(図中上)とエンドデバイスに用いた送信モジュール(図中下)を示す。2021年時点でいずれも1台あたり5,000円以下で入手可能である。

#### (2) 利用者のニーズに応じた汎用性

社会基盤のデータは計測時には単一の用途を想定していたものであっても、将来は他の用途での活用の可能性を意識することが重要である。例えば、現状では単独の社会基盤の維持管理を目的とした常時計測データであっても、データ連携が進んだ将来においては、地域全体のリプレースコスト評価に活用できる可能性が考えられる。したがって、計測された源泉データの本質的な部分を失うことなく保持した汎用的なフォーマットでデータを供給し流通させることが重要である。

効率的にデータを供給する観点では、源泉データを1か所に蓄積するのではなく、1対多でリアルタイムに供給することで、タイムラグを生じることなく多数の利用

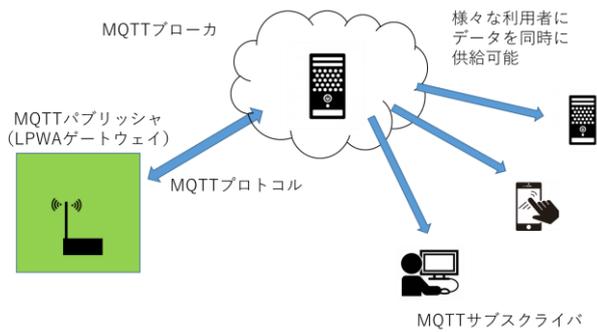


図-7 MQTTプロトコルによる1対多通信

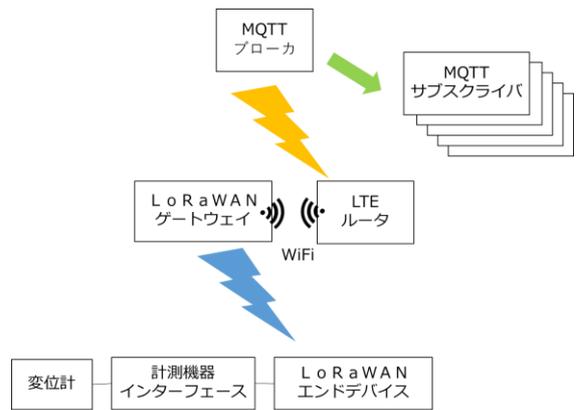


図-8 プロトタイプブロックダイアグラム

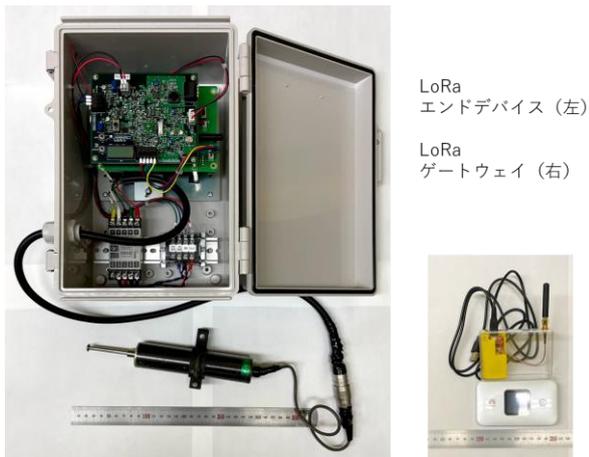


図-9 プロトタイプのエンドデバイスとゲートウェイ

者のニーズに応じた形でデータ供給を行うことができる。すなわち、データサーバへのアップロードに代表される Peer to Peer 方式でデータを供給するのではなく、1対多で同時配信の形式でデータを供給する方法が効率的と考えられる。もちろん、データ蓄積が必要な場合には、将来のためのデータ蓄積を担う特定の利用者が蓄積を行うことで目的は達成されるので、データサーバを否定するものではないことに留意されたい。

インターネットで用いられている通信プロトコルの中で、MQTTは上記の1対多の通信の実現要求を満たす通信プロトコルであり、図-7に示すように、データの供給側となるMQTTパブリッシャは配信を担うMQTTブローカにデータを送るだけで、供給と同時にデータの利用者であるMQTTサブスクライバにデータが供給されるため、利用者は源泉データをそのまま受け取ることが可能となり、特定の用途に加工されたデータを副次的に供給される場合と比較して、汎用性が高まると考えられる。また、LoRaゲートウェイからデータサーバにPeer to Peerでデータを供給する構成も考えられるが、その場合はデータサーバ側で別途供給方法を実装する必要が生じ、サーバの機能が增加するため、MQTTブローカの場合と比較して、将来のリプレースの手間が増加することが予想される。

表-1 使用モジュールと選定理由

用途	型番 (メーカー)	選定理由
送信	B-L072Z-LRWAN1 (STMicro)	<ul style="list-style-type: none"> <li>LoRa 送信モジュールが技術適合証明取得済</li> <li>開発環境としてCのほかArduinoも可能で自由度大</li> <li>ARM ベースで省電力が期待できる</li> </ul>
受信	WRL-15006 (SparkFun)	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術適合証明取得済のWiFiモジュール実装済</li> <li>ESP32 ベースで、開発環境としてArduino利用可能</li> <li>インターネット上に共有情報多数</li> </ul>

### (3) データ配信時のセキュリティ確保

社会基盤構造物は公共物であるため、データを無制限に公開することはリスク管理の観点から好ましくない。データ供給時の盗聴を防ぐための暗号化や、データの種類に応じた公開範囲の制限が必要となる。前述のLoRa方式とMQTTプロトコルを組み合わせる場合、無線通信部分はAES方式の暗号化が行われ、インターネット部分は、TLS方式の暗号化が行われる。また、MQTTプロトコルを用いたデータ供給には、パスワードによる認証が行われる。したがって、LoRaとMQTTの組み合わせでデータを供給することは、広くインターネットで行われているセキュリティ対策と同等であり、秘匿性が求められる場合のデータ供給においても利用可能と考えられる。

## 4. 構築したプロトタイプと検証

前節における検討に基づき、橋梁の点検データを1分あたり1回以上、1回あたり11byteのデータを同時に複数の利用者に供給できるシステムのプロトタイプを構築した。ブロックダイアグラムを図-8に実際の装置の写真

```

kameda@kamelab: ~/LoRa/release$ kameda@kamelab: ~/LoRa/release$
kameda@kamelab: ~/LoRa/release$ ./a.out
nwkkey
109D78B9B5C7C7FF8D245CF21F4AD23
appskey
04E374B0E6B53057695FF6FBE8E19DD6
encrypted
QNYVASaAdAAB1kHaiobmlqTWFmxqSSuvPrA=
decoded
Hello, world!
kameda@kamelab: ~/LoRa/release$

```

図-10 AES 暗号の復号状況

```

kameda@kamelab: ~/MQTT$ kameda@kamelab: ~/MQTT$
kameda@kamelab: ~/MQTT$ mosquitto_sub -h kamelab.kz.tsukuba.ac.jp -t test --cafile mqtta.crt -p 8883
hello
Connection with TLS at port 8883
This is a test.
This is a test.
This is a test.
This is a test #2.

```

図-11 TLS 暗号化を用いた MQTT データ供給

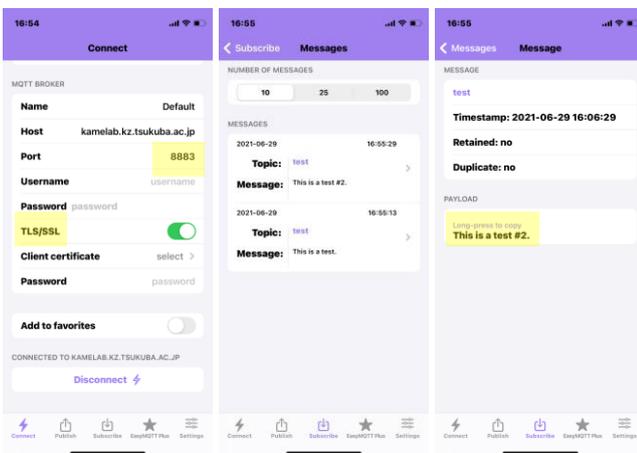


図-12 スマートフォン (iOS) へのデータ供給

を図-9 に示す。通信モジュールの型番と選定理由を表-1 に示す。

LoRa 通信で用いられる AES 暗号の復号については、Linux OS が稼働する一般的なサーバ上で動作するプログラムを作成して復号を検証した。AES 復号の様子を図-10 に示す。筑波大学内に設置した MQTT パブリッシャからのデータを、同じく筑波大学内に設置した MQTT ブローカに送り、複数のサブスクライバへの同時供給の例として、Linux OS 上で動作する Mosquitto サブスクライバによるデータ受信と iOS 14 上で動作するスマートフォンアプリによるデータ受信が同時に実現された様子を図-11 と図-12 に示す。以上から、本研究で構築したプロトタイプを用いて、表-2 に示すように、設定した要件を満たすデータ供給手法の妥当性が確認できた。

## 5. おわりに

社会基盤のデータの供給を効率化する手法として、LoRa 方式の LPWA 通信と MQTT プロトコルを組み合わせる方法を検討し、プロトタイプを構築して妥当性の評

表-2 プロトタイプの要件の実現状況

プロトタイプの要件	状況
データ供給自動化	ソフトウェアによるタイマ制御にて実現
コスト低減	オープンソースの活用と LoRa の利用で実現
汎用性	オープンソースの活用と MQTT プロトコルの利用で実現
データ配信時のセキュリティ確保	LoRa 無線通信の AES 暗号化と MQTT インターネット通信の TLS 暗号化で実現

価を行った。自動的かつ 1 対多のデータ供給がリアルタイムで実現できる長所が確認できた。技術的な長所に加えて、本研究で用いた手法は、特定の通信事業者に依存することなく、オープンソースを用いて実装が可能であるため、計測機器や通信機器の選択を自由に行うことが可能であり、社会実装を行う場合に問題となる固定費の問題やシステムの継続性の問題が存在しない。したがって、長い供用期間が想定される社会基盤のデータを供給する場合であっても、システムの維持を複数の事業者で引き継ぐ、もしくは、当初から共同で担当することが容易に行えるため、大量データ供給を社会実装する場合のハードルが低いことも利点と考えられる。

**謝辞：**本研究遂行においては、国土交通省関東地方整備局「令和 2 年度現場ニーズと技術シーズのマッチング」の支援を頂戴した。ここに感謝する。

## 参考文献

- 1) 国土交通データプラットフォーム  
<https://www.mlit-data.jp/platform/>
- 2) PLATEAU  
<https://www.mlit.go.jp/plateau/>

- 3) 藤本一輝, 川村圭, 澤村修司: 橋梁定期点検データのオープンデータ化を見据えたデータ管理手法に関する研究, pp.78-85, AI・データサイエンス論文集, Vol.1, No.1, 2020.
- 4) 関谷英彦, 木ノ本剛, 高木真人, 丸山収, 三木千壽: LPWA を活用した鋼箱桁橋における無線計測に関する基礎的研究, pp.53-62, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.76, No.1, 2020
- 5) 小林亘, 大原美保: LPWA を用いた市街地でのリアルタイム浸水モニタリングに関する研究, pp.36-47, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.75, No.1, 2019
- 6) 亀田敏弘, 岡本健宏, 新田恭士, 秋山成央, 二宮建, 森川博邦: LPWA ネットワーク型データ取得の電源喪失時レジリエンス向上に関する研究, pp.554-559, AI・データサイエンス論文集, Vol.1, No.1, 2020
- 7) 藤原圭哉, 佐藤誠, 亀田敏弘, 堀宗朗: インフラデータプラットフォームを活用したデータ連携による河床変動解析の効率化に関する研究, pp.645-650, 河川技術論文集, Vol.26, 2020

(Received June 30, 2021)  
(Accepted August 31, 2021)

## FUNDAMENTAL STUDY ON EFFICIENT DATA SUPPLY SCHEME FOR INFRASTRUCTURE DATA PLATFORM

Toshihiro KAMEDA, Yoshihiro NAKAGAWA, Ryo NAKAGAWA,  
Masakazu OMACHI, and Shuji UMEMOTO

It is expected that the demand for big supply of various data of infrastructure, not limited in AI application field, will increase, and it is required to develop the efficient data supply scheme in order to provide more detailed data to data platform for future data utilization. In this research, we focused on the utilization of MQTT protocol as a method that can realize automation of measurement data supply and immediate multiple use, and improved the efficiency of automatic measurement data supply when combined with automatic data measurement by LPWA. To ensure security during data distribution, we used MQTT with TLS connection in addition to LoRaWAN with AES encryption method. We constructed a prototype for measurement and data supply, and examined the possibility of real-time supply of infrastructure data by taking advantage of the characteristics of MQTT, which is a widely used protocol for one-to-many connection.