

ZigBee メッシュネットワークを用いた地図共有システムの提案

A Proposal of Map Sharing System Using ZigBee Mesh-Network

芦田 優太† ベンカテッシュ ラガワン† 米澤 剛† 吉田 大介† 大西 克実†
Yuta Ashida Venkatesh Raghavan Go Yonezawa Daisuke Yoshida Katsumi Onishi

1. はじめに

東日本大震災のような緊急時に、安全な避難経路を知ることや、復興のため、正確な被災情報を取得することは必要不可欠である。しかしながら、基地局、伝送設備は被害を受け、携帯端末はオフラインとなり、もしオンラインであったとしても、Web サイトなどはアクセスが集中し、Web サーバがダウンしたことから、情報を取得することが困難であった[1]。

このような緊急時の通信状況から、問題点を2つ挙げる。まず1つ目に安全な避難、移動が困難であったことである。災害時に地域の避難所への適切な経路を取得すること、そして災害後、最適な移動経路を取得することが困難であった。道路が寸断されているなど、地図や記憶している道と実際の状況に差があったことや、インターネットが使用できないため、携帯端末の地図アプリなどは使用できないことが理由として挙げられる。2つ目に被災情報の取得が困難であったことである。被災情報として避難所の収容人数、仮設住宅の情報、病院の受け入れ状態や足りない物資、送付できる物資の登録/マッチングなどがある。これらもインターネットや電話回線を使用することができなかったことが理由として挙げられる。

先行研究として、災害時に地図を活用し、情報を共有するシステムは提案されているが Web を使用することが前提となっていることや、上記の通信に関する問題に対応するような独自の通信ネットワークが提案されていない点が課題である[2]。

そこで本研究では、緊急時のオフラインによる通信の問題を解決するために、地図や被災情報の共有を目的とした ZigBee メッシュネットワークシステムの構築を提案する。地域の住民が簡単にシステムを活用するために、システムのハードウェアである通信モジュールと Android アプリケーションを開発した。これらの性能評価を行い、本システムが実際の現場で有効であるか検討した。

2. ZigBee

2.1 ZigBee とは

ZigBee Alliance が使用を定義している IEEE 802.15.4 の MAC/PHY 上で動作する無線通信プロトコルであり、低コスト、低消費電力でワイヤレスセンサーネットワーク (WSN) を構築するために策定された規格である。ネットワーク (NWK) 層、アプリケーションサポート (APS) 層、ZDO (ZigBee Device Object)、セキュリティ機能で構成されている[3]。

2.2 ZigBee ネットワークの構成

ZigBee ネットワークは ZigBee コーディネータ、ZigBee ルータ、ZigBee エンドデバイスで構成される。

- ZigBee コーディネータ
1つのネットワークに必ず1つ必要でネットワークの確立やネットワークに参加する端末の管理を行う。

ZigBee ルータの役割も兼ね備える。

- ZigBee ルータ
他の端末からのデータの中継やエンドデバイスのネットワークの参加の受付を行う。
- ZigBee エンドデバイス
通常、省電力でスリープ状態から、タイマや外部回路からのトリガ信号で起動し、ZigBee コーディネータやルータにデータを送る。再度スリープすることで、省電力でセンサ制御などを行う。

2.3 ZigBee メッシュネットワーク

ネットワークの形態としてスター型、ツリー型とメッシュ型の3種類があるが、本研究ではメッシュ型 ZigBee ネットワークを使用する。全ノードに情報を送信するブロードキャストと特定の端末に送信するユニキャストであるメッシュルーティングの2つがある(図1)[4]。メッシュルーティングは受信信号強度(RSSI: Received Signal Strength Indicator)をコストとして計算し、最適なルートを算出する。RSSI は以下の様に定義される。

$$RSSI = -(10N \log_{10} d + A) \quad (1)$$

A 1m 離れたところでの電界強度 (-dBm)

N 経路品質係数

d 通信距離 (m)

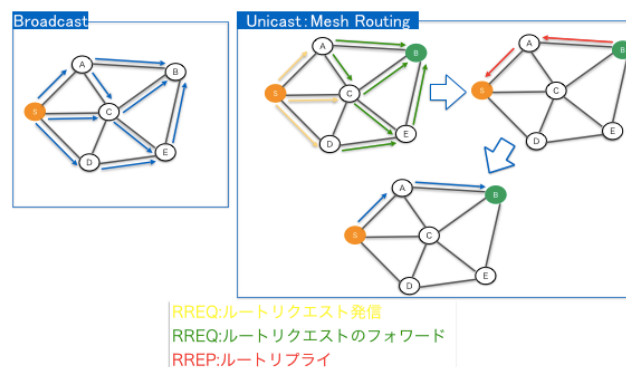


図1. ZigBee メッシュネットワークの Broadcast と Unicast

2.4 他無線規格との比較

2.4GHz 帯域の無線通信規格である ZigBee, Bluetooth と Wi-Fi の比較を表1に示す[3]。

表.1 無線通信規格の比較

	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
標準規格	802.15.4	802.15.1	802.11
周波数帯域	2.4GHz (920MHz)	2.4GHz	2.4GHz
通信距離[m]	100-1000	100	100
接続端末数	65535	8	50
通信速度[bps]	250k	1M	54M~
駆動期間	数ヶ月~	数週間	N/A

表 1 から ZigBee のメリットは他の無線通信規格に比べて通信距離、接続端末数と末端の末端の駆動期間が優れている点である。さらにモジュールが安価なため、低コストでネットワークを構築できる。次にデメリットは通信速度が 250kbps またはネットワークの状況によってはそれ以下と低速なため、大きなデータを通信することは現実的ではない。さらに同時接続端末数が増えたとき、パケットの遅延や損失の発生頻度が増加する点である。

3. 地図共有システムの提案

3.1 システム概要

緊急時のオフラインによる通信の問題を解決するため、ZigBee メッシュネットワークを用いた地図共有システムを提案する。ZigBee メッシュネットワークを用いて、ユーザによって加えられ編集された地理情報(緯度、経度、道路などの情報)や被災情報を共有すれば、非常時でも適切な避難経路を取得できる。そして災害後も道路の寸断などの情報から、その道路を避けるようなルートを提示できる。さらにこのシステムは仮想的にオフラインをオンラインにすることができる。その方法として図 2 のように ZigBee ネットワークで地図や被災情報を共有し、さらにオンラインとオフラインエリアの境目にある端末同士がゲートウェイの役割となり、インターネットを介してクラウドサーバから情報を入出力することにより可能となる。ZigBee の通信速度は 250kbps のため、テキストベースのファイルを共有することで、ZigBee ネットワークは機能する。

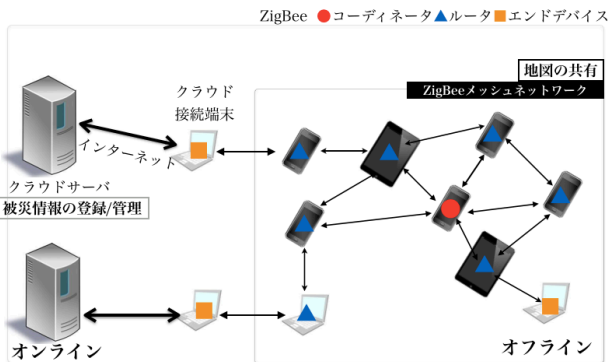


図 2. システム概要

しかしながら、ネットワークの規模が大きくなり、宛先の端末までのホップ数が増加した場合、通信パケットの遅延や損失の問題がある。そこで通信モジュールの ZigBee 端末を複数にすることで、上記の問題点を解決する。図 3 に通信モジュールの構成を示す。

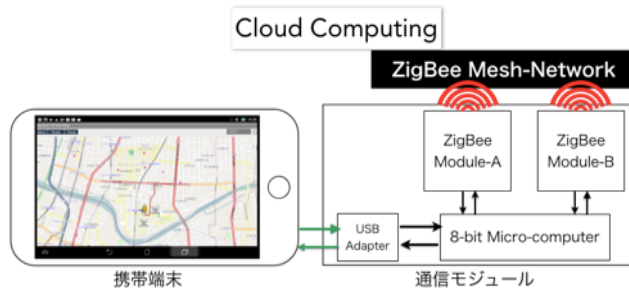


図 3. 通信モジュールの構成

ここで ZigBee 端末を複数にしたときの送信方法を提案する。まず RSSI が高い値の場合、トランキング方式を採用し、データを分割して高速化させる。次に RSSI が低い場合、二重化方式を採用し、データに冗長性を持たせる。図 4 にトランキング方式と二重化方式を示す。チャンネル制御としては、ZigBee の周波数アジリティー機能により、通信状況を常に監視し、干渉によって通信状況が悪くなった場合、干渉の少ないチャンネルに移動させてネットワークの安定性を高める。

ZigBee 端末がトランキング方式と二重化方式で通信を行えば、通信モジュールに ZigBee 端末が一つの場合よりも、パケットの損失と遅延を抑えることができるのではないかと考える。

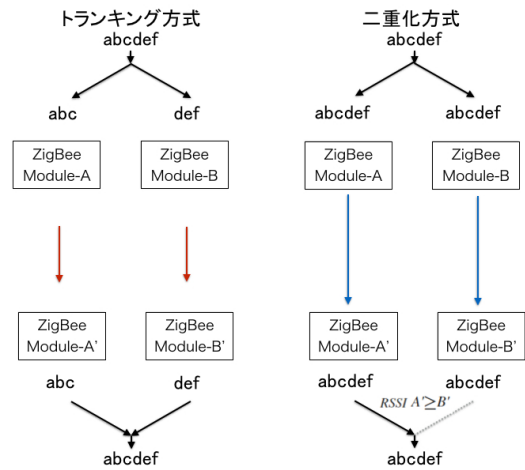


図 4. トランキング方式と二重化方式

3.2 オフライン地図の構築

ZigBee ネットワークオフライン環境に使用でき、かつユーザによって編集可能な地図の構築方法を説明する。まず、Mobile Atlas Creator でユーザが使用する地域の OpenStreetMap (OSM) タイルを生成する(図 5, 6)。さらに地理情報を地図タイルにオーバーレイするために、SQLite の地理拡張機能で、Spatialite を用いて OSM 道路データがインポートされた sqlite ファイルを生成する(図 7)。この Spatialite で経路検索や、地理情報と結びつけて情報を保存することが可能である。この二つのファイルを携帯端末に予め保存しておくことで実現する。

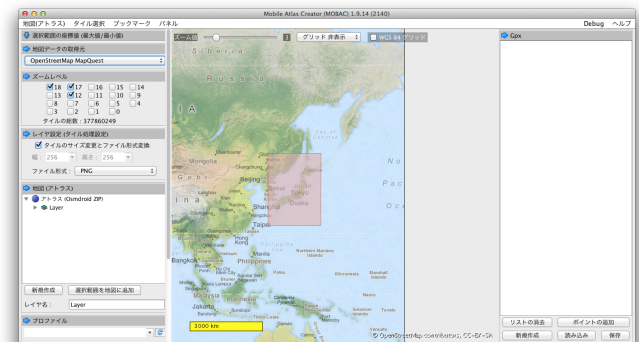


図 5. Mobile Atlas Creator

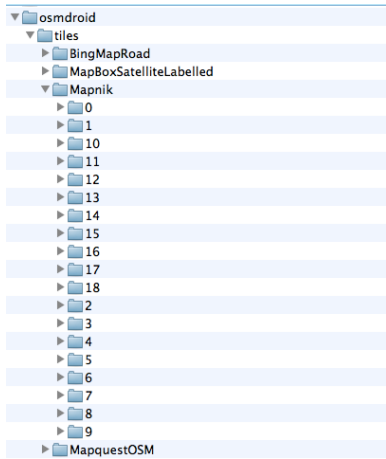


図 6. OSM タイル

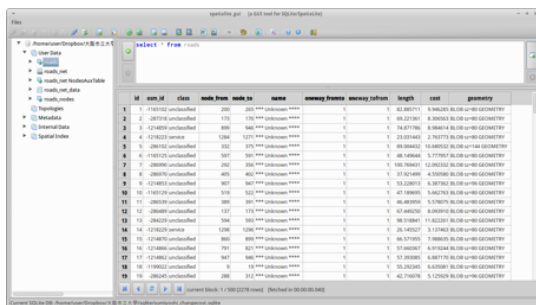


図 7. OSM 道路データがインポートされた sqlite ファイル (roads, roads_node, roads_net など)

4. 試作システム

4.1 Android アプリケーション

試作した Android アプリケーションについて説明する (図 8)。1つ目は、ZigBee ネットワークの Broadcast (2.3 節) で共有された SQL 文 (UPDATE roads SET cost=10000 where id=876) により、道路 ID876 の移動コストをあげることで、経路検索の結果が変化した様子である。2つ目は ZigBee ネットワークのメッシュルーティング (2.3 節) でクラウド接続端末から特定の端末に対して、Google App Engine 作成した Web アプリケーションで、管理されている避難所の収容状況を送信している。Android アプリケーション側で、地図上の避難所のアイコンをクリックしたときにその情報が表示される様子である。

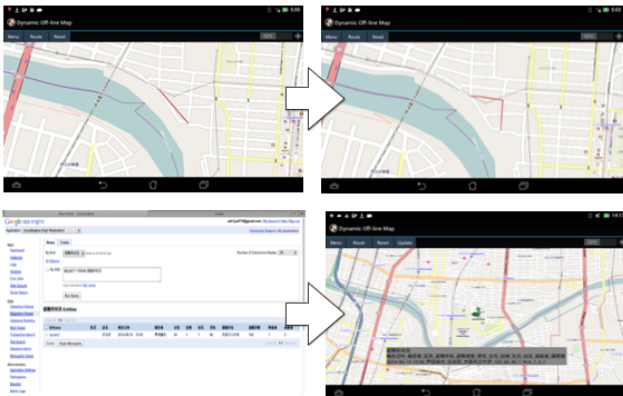


図 8. Android アプリケーションによる共有地図活用の一例

4.2 通信モジュール

本システムの ZigBee ネットワークを構築するため、携帯端末と接続する通信モジュールを開発した。通信モジュールに搭載されている電子部品は以下である。図 9 に試作した通信モジュール、図 10 にその回路図を示す。

(1) XBee Pro ZB ホイップアンテナ

- ・ 屋内、アーバンレンジ：60m
- ・ 屋外、見通しレンジ：1.5km
- ・ 送信時電流：220mA
- ・ 受信時電流：62mA

XBee は低コストな ZigBee(IEEE802.15.4)モジュールである。UART シリアル通信の様に簡単に文字等のデータを送受信できる AT (透過) モードと API (Application Programming Interface)フレームデータを用いて通信を行う API モードがある。

(2) ATMEGA328p (Arduino)

- ・ Duemilanove タイプを自作
- ・ クロック周波数 16MHz
- ・ シリアルポート (Rx と Tx)
- ・ 16本のデジタル入出力、6本のアナログ入出力

(3) FT232RL USB シリアルアダプタ 5V

(4) USB ホストケーブル

Android 端末で外部 USB 機器を制御し、電源供給を行う USB ホスト機能を使うために Micro USB ケーブルの 5本のピン (VBus, D-, D+, ID, GND) で ID ピンをショートさせたケーブルを使用する。

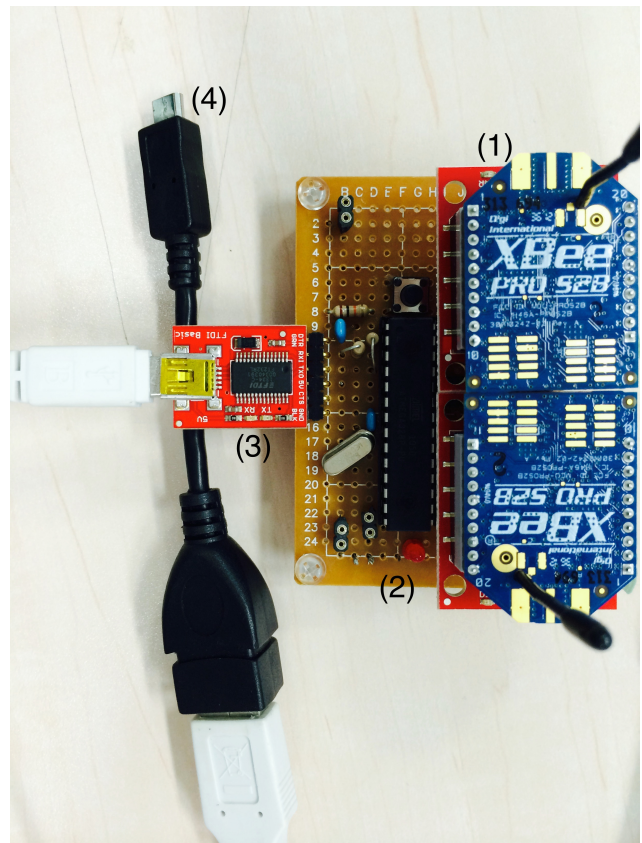


図 9. 試作した通信モジュール

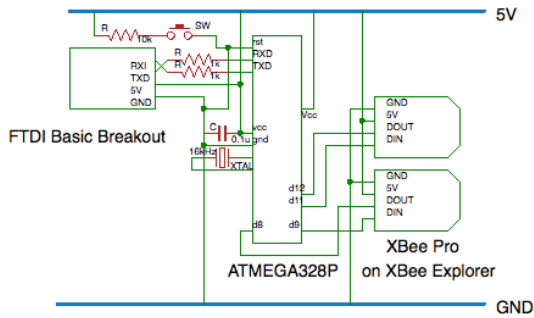


図 10. 通信モジュールの回路図

4.3 クラウド接続端末

クラウド接続端末は名刺サイズの Linux PC である Raspberry Pi の GPIO に ZigBee 端末である XBee を接続する(図 11).

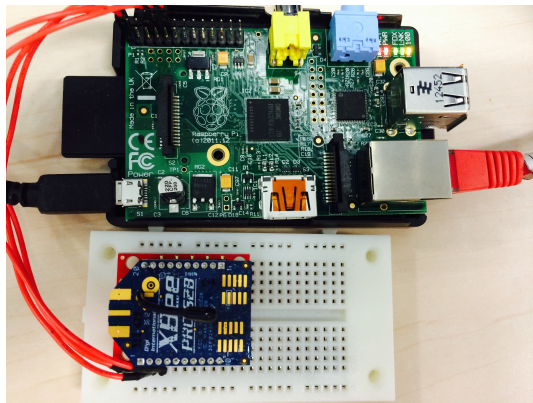


図 11. クラウド接続端末 (Raspberry Pi and XBee)

このクラウド接続端末はインターネットに接続され、クラウドに接続し、データを入出力する Ruby スクリプトを動作させる。図 12 は Web アプリケーションで管理される被災情報を送信している。

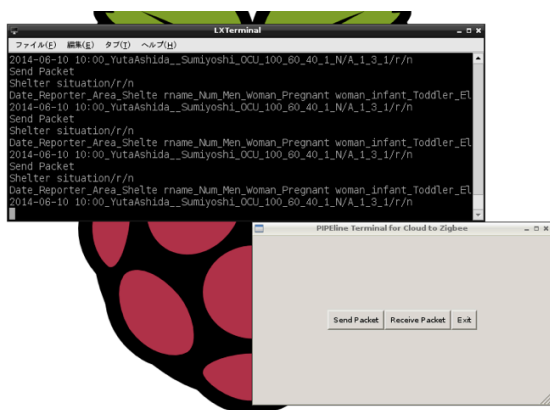


図 12. Ruby アプリケーション

5. 実験

5.1 実験方法

本システムの実用性を評価するため、4.2 節で説明した通信モジュールの 1 対 1 通信における通信品質を測定する。今回は通信モジュールの ZigBee 端末を 1 つにして、1 対 1 の通信の実験を行う。20byte のバイナリデータを 625 回送信したときの受信成功率と RSSI を測定した。屋外の

見通しが取れる大阪市の大和川沿いで測定を行った。

5.2 実験結果

図 13 は RSSI と受信成功率の実測値と理論値である。XBee Pro の受信感度は -102dBm で PER1% であるため、左のような値になる。実測結果が右にシフトした理由として試作ハードウェアのノイズや、周囲の 2.4GHz 帯 Wi-Fi とのパケットの衝突が考えられる。しかしながら、本システムは通信インフラが麻痺している場合に使用するため、ユーザの携帯端末の Wi-Fi 機能はオフになっていることを前提としている。よって実測値の -90dBm の地点で受信成功率はほぼ 100% であるため、ソフトウェア側で何らかの誤り訂正を行えば、十分実用できる。しかしながら、使用される現場と全く同様の条件にすることは必要であるため、今後は周囲の Wi-Fi の範囲外で実験を行い、通信のパケットロスに対する影響を確認したい。

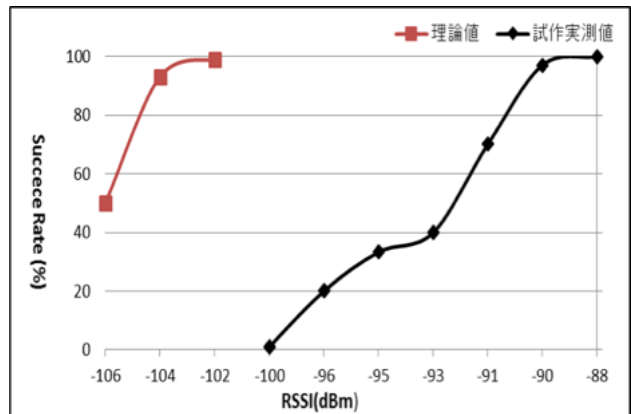


図 13. 1 対 1 通信における RSSI と受信成功率

6. おわりに

災害時における情報共有システムは南海トラフ大震災が想定されていることも、必要不可欠である。本研究では ZigBee メッシュネットワークを用いた地図共有システムを提案し、Android アプリケーションを紹介し、試作した通信モジュールの通信品質の評価を行った。

今後の課題として、ネットワークの規模を大きくした場合における通信モジュールの通信品質(受信成功率、遅延)の評価が必要である。通信モジュールを実機で 10 台まで、さらにはネットワークシミュレータ NS-2 [5]を用いた実験を行い、実際の現場で使用できるシステムであることを検証する必要がある。

参考文献

- [1] 総務省, 2011 年度情報通信白書, p3-10
- [2] 中村喜輝他, "地図を用いた災害発生初期段階における情報共有システム", FIT2006 (第 5 回情報科学技術フォーラム), 0-014, 2006 年 9 月
- [3] 東京コスモス電機 ZigBee とは, <http://tocos-wireless.com/jp/tech/ZigBee/ZigBee.html>
- [4] ZigBee SIG-J ZigBee メッシュネットワーク技術概説, http://www.zbsig.org/about_zigbee
- [5] 水野秀樹『NS2 によるネットワークシミュレーション入門』(森北出版 (2011/9/3))