

市街地のIoT化を目指したアドホックネットワークに関する基礎研究

Consideration of ad hoc network systems for IoT in urban areas

電気電子情報通信工学専攻 上倉 央幹
Hiroki KAMIKURA

1. 研究の目的

近年,モノのインターネット(Internet of Things , IoT)が注目を集めている.今後,様々なモノがネットワークを形成し,様々な分野で活用されていくIoT時代に突入すると考えられる.

今後はインターネットを介しただけのモノとモノの繋がりだけでなく,インターネットを利用しつつ実際にモノとモノ同士がアドホックネットワークを形成し様々な分野で利用されインフラ化していくと予想される.そうしたネットワークが多数形成される事が予想されるのは電気を利用した製品や各種インフラが数多く集まる市街地であると考えられる.本研究では市街地でIoTがインフラ化する未来に備え,市街地におけるIoTの具体的な利用例を考え,シミュレーションによってそのネットワークの特性を評価する.

本研究では,市街地におけるIoTのセンサネットワーク的利用について考える.市街地でセンサネットワークを組む場合にはセンサノードとして用いる物は街中にある物の内,一定数あり,公共性が高い物が理想である.そこで本研究では自動販売機を固定ノード,レンタルサイクルを移動ノードとし,収集した情報を素早く正確にインターネットに接続されているルートに届ける為に重要な因子をシミュレーションによって評価する.

2. シミュレーションの背景及び概要

IoT時代の市街地では現在の無料Wi-Fiスポットの様なインターネットへの窓口がIoTデバイスの通信拠点となると考えられるが,携帯回線が利用できないデバイスの場合,そういった通信拠点の通信範囲内にいなければインターネットに接続できないという問題がある.そこでWi-Fiの様なインターネットの出入り口を,その周囲に存在するモノと無線通信を行う事で拡張する.インターネットに接続されているデバイスをルートとして通信範囲内にある通信機能を持ったモノと通信し,木構造のネットワークを形成する事で市街地におけるインターネットの窓口の範囲を広げるというものである.インターネットにただ接続するだけでなくIoTデバイスが収集した情報の内,人や車の位置などの

ローカルで変化しやすい情報を,その市街地内で共有しあい,情報の地産地消を目指すといったインターネットを介さない利用方法も考えられる.市街地では車,自転車,バイク,人,ドローンなどの移動するモノがIoTデバイスを装着してノード化すると考えられ,そうした移動ノードと,一定の位置で通信を行う固定ノードがネットワークに及ぼす影響を知る必要がある.

本研究では市街地におけるIoTのセンサネットワーク的利用時の移動ノード及び固定ノードがネットワークの性能にどのように影響するのかという事をシミュレーションによって調査した.今回は回収した情報に精度が求められる認知症による徘徊を早期発見するためのネットワークを想定してシミュレーションを行った.

本研究で提案するネットワークについて具体的に述べる.対象者の靴に圧電素子,環境発電モジュール,GPSモジュール,無線子機を用いた回路を取り付けて置き,対象者が歩く事により発電し,発電量が環境発電モジュールの内部コンデンサの閾値を超えると無線子機がGPS情報を電波にのせて自動販売機またはレンタル自転車の親機へと送り,インターネット接続してあるルートを目指して自動販売機同士が情報をホップ,またはレンタル自転車が情報を運ぶことで,情報がルートにたどり着くとインターネットを利用し自治体の担当部署までその情報を届けるといったものである.図1にシミュレーションの概要を示す.

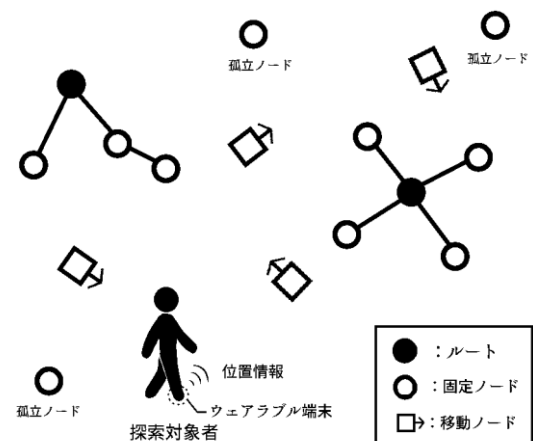


図1 シミュレーションの概要

図1の●印はインターネットに接続されているルート、○印は固定ノードである自動販売機、□印は移動ノードであるレンタル自転車を表している。また、固定ノードの中でルートからなるネットワークに通信距離が足りずに孤立してしまったものを孤立ノードと呼ぶことにする。

実験の結果^[9]を踏まえたシミュレーション条件を表1の様に定めた。シミュレーションは文京区のような市街地を想定し、格子状に住宅街を含むエリアを表1の条件で配置する。探索対象者はマップの中央からマップ外へとランダムに歩き発電し、ウェアラブル端末の閾値を超えると位置情報のデータを送信する。データを受信可能な位置に移動ノードまたは固定ノードがあればそれぞれ情報を受け取る。ルートから無線通信によって木構造に接続されている固定ノードが情報を受け取った場合は固定ノード同士のホップによって情報をルートまでとどける。固定ノードの内、孤立ノードは情報を受け取るとその情報を保存し、近くを通った移動ノードに情報を受け渡し、移動ノードは対象者のウェアラブル端末から直接受け取った情報か孤立ノードから間接的に受け取った情報をルートからなる木を構成している端末の側を通った時に受け渡す事で対象者の情報をルートに届けるというアドホックネットワークである。

移動ノードはマップ上のサイクルポートから出現して別のサイクルポートを目的地として移動し、目的地のポートに到着するとマップから消えるという動作をする。

今回は孤立ノードと移動ノードの通信頻度の変化、マップ上で移動ノードが出現、退場する場所であるサイクルポートの数の変化がどの程度ネットワークの性能に影響を及ぼすかをマップに出現可能な移動ノードの上限数を変化させることで調べた。同一の条件で25回試行して平均を取る事で性能を評価し、評価項目は、対象者を見つける事ができないままマップの外に出た場合の回数である**場外回数**、ウェアラブル端末から最初に位置情報が送信されてからルートに届くまでの時間である**発見時間**、発見した時刻の対象者の位置とルートが受け取った位置情報の差である**誤差**とした。また、サイクルポート数を変化させた場合は、ウェアラブル端末が送信した対象者の位置情報の**受信率**についても調べた。今回は対象者の情報をルートが受け取った時刻を対象者が発見された時刻とした。

ここで、通信頻度を変化させる時の方式についてそれぞれ定義する。対象者から位置情報を受け取った孤立ノードが移動ノードに情報を渡し役目を終え、対象者または孤立ノードから受け取った情報を移動ノード

が木を構成する固定ノードに情報を渡すという基本的な動作のみを行う方式を**リレー方式**と呼ぶ事にする。位置情報を保有した移動ノードは基本的に木を構成する固定ノードのみに情報を受け渡すが、通信範囲内に入った孤立ノードを見つけ次第孤立ノードにも情報を受け渡すという方式を**移動拡散方式**とする。位置情報を保有した孤立ノードは基本的に側を通った移動ノードに情報を受け渡して役目を終えるが、情報を保有し続け移動ノードが側を通る度に情報を渡し続けるという方式を**固定拡散方式**とする。また移動拡散方式と固定拡散方式の両方を行う方式を**両拡散方式**と呼ぶ。

表1 シミュレーション条件

マップの面積	11.29[km ²]
道幅	5[m]
障害物(建物)	50[m]×50[m]
自動販売機の設置数	500、2145[個]
対象者の移動速度(徒歩)	1.11[m/s]≒4[km/h]
通信可能な距離(端末-親機) 障害物がある場合	30[m]
通信可能な距離(端末-親機) 障害物がない場合	70[m]
通信可能な距離(親機-親機) 障害物がある場合	40[m]
通信可能な距離(親機-親機) 障害物がない場合	130[m]
歩行時の発電量(内部コンデンサ間電圧)	0.0092[V/s]
端末の電波送信閾値(内部コンデンサの端子間電圧)	4.18[V]
サイクルポート数	5、25、1000[個]
自転車の上限数	0~1000[台]
自転車の速度(成人の速さ)	4.06[m/s]≒14.6[km/h]
ある時刻に自転車が1台利用される確率	1/500
移動ノード-固定ノード間の通信	毎秒
固定ノード-固定ノード間通信	毎秒

3. シミュレーションに向けた事前調査

今回は文京区をモデルとしたシミュレーションを行う為、文京区の自動販売機(飲料、煙草)のおおよその個数を知る必要があった。本研究では文京区の後楽園駅周辺のエリアの自動販売機を調査し、実際の文京区の面積と比較した。調査日は2017年7月4日、7月5日で、調査の結果エリア内に自動販売機は129台存在した。今回のシミュレーションでは、自動販売機を固定ノードとして通信範囲内にある近場の自動販売機同士でネットワークを構築する。その為、隣合わせや背中合わせになっている自動販売機は同じ位置と見なす必要があり、そのような隣接した自動販売機をまとめて1つの固定ノードと見なすと計測エリア内の固定ノード数は83台であった。計測エリアの面積は436296[m²]であるから一平方メートルあたり固定ノード数は 1.90×10^{-4} 乗個、文京区の面積11.29[km²]で考えると約2145台である。表1のシミュレーション条件ではこの数値を使用した。

4. シミュレーション結果と考察

本章ではシミュレーション結果とその考察を示す。今回はシミュレーション結果の内、重要度の高いものを中心に述べる。

4.1 固定ノード数が 500 台の場合

想定するネットワークが文京区よりも固定ノードが少ない様な場所ではどの様な振る舞いをするのかを調べる為、固定ノードが 500 台の場合について調べた。ポート数を変化させない場合のポート数は 25 である。

4.1.1 通信頻度変化させた場合

マップにおける固定ノード数が 500 台の場合に移動ノードと固定ノードの通信量をそれぞれ変化させた。

図 2 は、マップにおける自転車の上限数の変化と発見時間との関係を示している。いずれの方式もマップにおける自転車の上限数が増加するにつれて発見時間が短くなるが、両拡散方式と移動拡散方式は発見時間が対象者の発見までにかかる時間が安定して減少する。このことから対象者の位置情報を受け取った移動ノードが移動しながら広範囲に情報を拡散する事が発見時間の短縮に寄与すると考えられる。

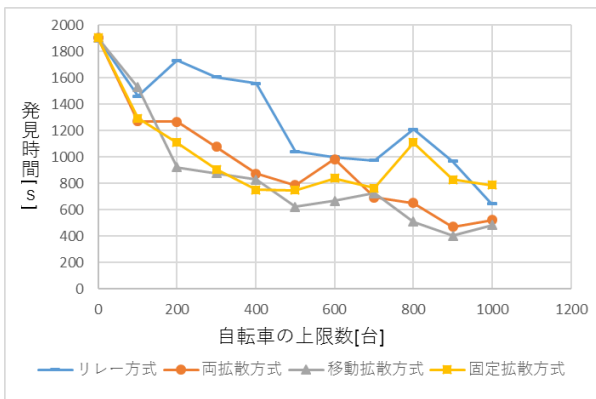


図 2 固定ノード数が 500 台の時の自転車の上限数と発見時間の関係(通信頻度を変化)

図 3 は、マップにおける自転車の上限数の変化と対象者発見時の対象者の実際の座標と収集した対象者の位置情報との誤差の変化を示したものである。リレー方式は誤差が安定せず、他の方式と比較して精度が悪い。他の方式では移動ノードの上限数が 500 以上ではどの方式も差が見られなくなるが、上限数が 500 以下の状態では、両拡散方式、移動拡散方式、固定拡散方式の順に性能が良い。このことからマップ上に移動ノードが少ない状態では、固定ノードより移動ノードの通信頻度の方がネットワークの性能に与える影響が大きいことがわかる。これは移動ノードが移動しながら孤立ノードに情報を渡し続けることで、情報が広範囲に広がり、別の移動ノードが情報を保有している孤立ノードから情報を受け取る確率が上昇し、情報の鮮度が保たれたままルートへ位置情報が回収されているからだと考えられる。

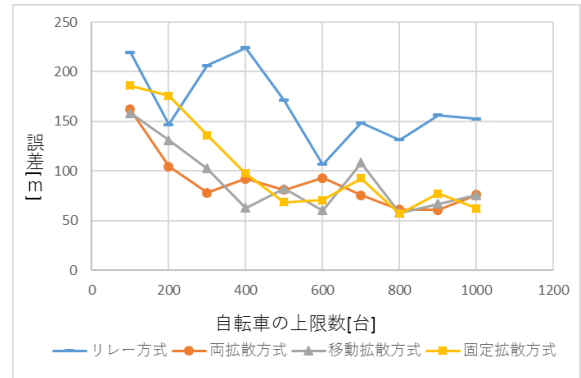


図 3 固定ノード数が 500 台の時の自転車の上限数と誤差の関係(通信頻度を変化)

4.1.2 ポート数を変化させた場合

移動ノードの出現ポイントであり目的地でもあるサイクルポートの数を変化させ、マップにおける固定ノード数が 500 台で両拡散方式の場合についてネットワークの性能の変化を調べた。結果を図 4 に示す。ポート数は文京区の 25 ヶ所を基準として、少ない場合を 5 ヶ所、多い場合を 1000 ヶ所とした。

図 4 は、マップにおける移動ノードの上限数の変化とネットワークが対象者を発見できずに対象者がマップの外に場外した回数との関係を示している。ポート数が 25、1000 の場合は移動ノードの上限数が増加するにしたがって場外回数が安定して減少するが、ポート数が 5 の場合は非常に不安定である。このことから、ポート数はネットワークの性能に影響を及ぼすことがわかる。ポート数が 25 と 1000 の場合には大きな差が見られない為、ポート数がある一定数を超えるとネットワークの性能に及ぼす影響が無くなる事が予想できる。これはポート数が少な過ぎると、マップにおける移動ノードの経路数が少なくなり、情報を保有している孤立ノードの側を移動ノードが通るルートが存在しない場合や、対象者の側を移動ノードが通らないルートが存在する確率が上昇する事が原因として考えられる。

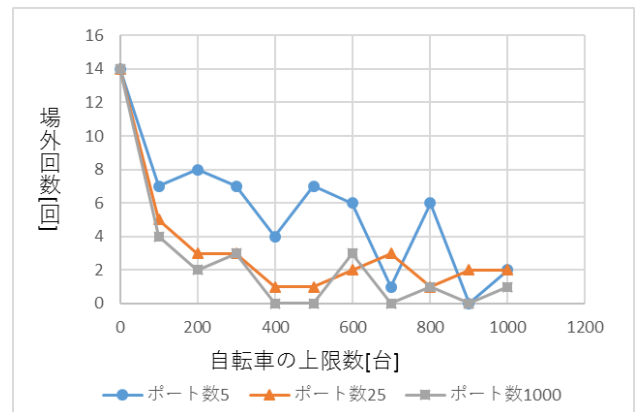


図 4 固定ノード数が 500 台の時の自転車の上限数と場外回数の関係(ポート数を変化)

4.2 固定ノード数が 2145 台の場合

文京区のような場所を想定し、固定ノード数が 2145 台の場合について調べた。固定ノード数が 500 台の時と同様に、通信頻度とポート数を変化させた。ポート数を変化させない場合のポート数は 25 である。固定ノード数が 500 台の時の比較の為にポート数 25 で固定ノード数が 500 台の時の両拡散方式の結果も示した。

4.2.1 通信頻度を変化させた場合

場外回数、発見時間、誤差のいずれも固定ノード数が 500 台の時と比べてリレー方式、移動拡散方式、固定拡散方式、両拡散方式に大きな差が見られなくなった。このことから、固定ノード数が一定数を超えると両拡散方式ではなくリレー方式、移動拡散方式と固定拡散方式を市街地の状況に応じてネットワーク設計者が選択可能である事が言える。固定ノード数が 500 台の時に不安定だったリレー方式でも差が見られなくなることから、固定ノード数の増加はネットワークの安定化、性能向上に大きな影響を与える事がわかる。

4.2.2 ポート数を変化させた場合

図 5 は固定ノード数が 2145 台の時の自転車の上限数と発見時間の関係を示している。ポート数 5 の時は不安定で性能が悪く、ポート数 25 とポート数 1000 では大きな差が無い。これは、ポート数が少ない場合は移動ノードが通る経路も少なくなり、孤立ノードが保有している探索対象者の位置情報を移動ノードが拾う確率が低くなってしまふからであると考えられる。

固定ノード数が 500 台の時のポート数 25 と固定ノード数が 2145 台の 3 つを比較するといずれのポート数も発見時間が大幅に減っていることから、固定ノード数の増加がネットワークの性能向上につながる事がわかる。また、発見時間以外の調査項目ではポート数を変化させても差が見られなかった。

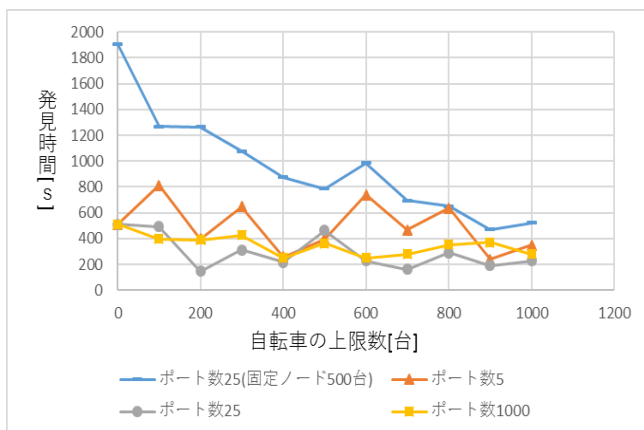


図 5 固定ノード数が 2145 台の時の自転車の上限数と発見時間の関係(ポート数を変化)

5. まとめ

今回の様なネットワークでノード数が少ない状況下では、固定ノードの通信頻度よりも移動ノードの通信頻度の方がネットワーク性能に及ぼす影響が大きい事がわかった。通信頻度もネットワークの性能向上に重要だが、固定ノードがある一定数を超るといずれの方式でも性能が良くなり差が無くなる事がわかった。4つの通信方式の中で最も通信頻度が少ないリレー方式でも差が無くなる為、通信コストを抑えたネットワークを設計する場合は、市街地に固定端末をできるだけ多く配置する事が重要である事が言える。

また、ポート数を変化させた場合、ポート数が極端に少ない場合は性能が悪いが、一定数を超えると性能に大きな差が無くなる事がわかった。

文 献

- [1] ZigBee Alliance
<http://www.zigbee.org/>, 2016年10月閲覧
- [2] 荘司洋三 : “Wi-SUN を活用した地域の安心安全見守り基盤” ,2016年電子情報通信学会ソサイエティ大会 ,BP-2-4
- [3] 総務省情報流通行政局 : 児童見守りシステム導入の手引書
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/top/local_support/pdf/ict_service_kids1.pdf
,2016年12月閲覧
- [4] 主要な清涼飲料の自動販売機・自販機の設置・サイズのご紹介
<http://www.energy-co.jp/vendingmachinekind.html>
,2016年12月閲覧
- [5] 文京区自転車シェアリング運営事務局 : コミュニティサイクルポートマップ 2017年5月
- [6] 貸し自転車や船に広がり「IoT」が変える暮らし
<https://www.nikkei.com/article/DGXKZO96430230S6A120C1H56A00/>
,2017年12月閲覧
- [7] LINEも参入 自転車シェアに「総務部」の壁
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO24859580Q7A221C1000000/>
,2017年12月閲覧
- [8] 鈴木彦文,二川雅登,小松満,David K.Asano,不破泰: “災害時に様々な情報収集が可能なセンサーネットワークの迅速な展開に関する開発研究”, 電子情報通信学会技術研究報告 安全・安心な生活とICT研究会(2016年度), pp.103~108
- [9] 上倉 央幹, 田村 裕: “ウェアラブル端末を用いた地域見守りシステムの提案”, ICTSSL2016-48