

山間部農村地域の限界集落を対象とした地域住民見守りのための無線 LAN インフラ構築とその実証実験

代表研究者

木谷 友哉

静岡大学 大学院情報学研究科 准教授

1 はじめに

本研究では、限界集落となりつつある山間部農村の生活環境を情報通信技術を用いて改善するための無線通信ネットワークに関する研究を行った。ここでは、都市部のような各戸への高機能高付加価値のネットワークサービスを提供するのではなく、安価に情報通信システムを過疎地などの集落に提供して、住民の安全安心や見守りにつなげ、持続可能な社会を構築することを目的とした。

山間部農村では、高速なインターネットインフラが提供されていないことや、そもそもインターネット上にその地域住民に有益な情報がほとんどないことから、各戸のネットワーク接続率が低く、都市部と比較すると情報通信技術の恩恵を十分受けられていない。また、若年人口の減少による高齢者世帯や独居老人の増加、農業従事者の高齢化により、生活上危険にさらされる場面が多くなってきている。

そこで、情報通信技術を用いて、そのような地域に情報を提供したり、そのような地域内の情報を収集して活用するインフラが望まれる。それにより、独居老人や単独で作業等に従事する人を見守るシステムを構築することができれば、老若男女にかかわらず地域住民の生活品質の向上が見込めると考えている。

本助成期間では、この目標に対して以下の4つの項目に分けて研究を行った。

第1は、アドホックネットワークの構築についての研究である。複数の無線 LAN アクセスポイントを使用して、建物内の至るところにまで通信可能とする無線ネットワークを構築する方法を提案した。あらかじめ建造物の形や組成が与えられたときに、どの位置にどれだけアクセスポイントを設置すれば良いかを導出する。この手法は、市販の無線 LAN アクセスポイントを設置してアドホックネットワークを構築するため、安価にネットワークを構成できる。この手法は、過疎地での利用や災害時のネットワークインフラ構築に利用可能である。これについては2章で説明する。

第2は、車両を用いた遅延耐性ネットワーク (DTN) の研究である。山間部の無線ネットワークをインターネットに接続するために、自動車の車両間通信による DTN が有効であるかどうかを調査した。車車間通信ネットワークを利用すると、車両をメッセージフェリーとして分断させたネットワーク間に接続性を用意することができるようになる。これにより、通信会社が用意する市街地の WiFi アクセスポイントと山間部の無線 LAN ネットワークを接続することができるようになる。また、この結果は、携帯電話網に直接流れる通信トラフィックを車両を通じて WiFi スポットにデータオフローディングすることの効果についても同時に調査できる。本助成期間では、通信会社が用意する WiFi アクセスポイントについて、人口密度の異なる地域を対象にして、どのくらい車載 WiFi デバイスが接続できるのかを調査した。これについては3章で説明する。

第3は、二輪車の行動および車体運動センシングに関する研究である。山間部や東南アジアなどの新興国での主要な交通手段としての自動二輪車に着目し、住民の行動をセンシングしてデータを集める。個人の利用状況から事故を未然に防止したりや見守ったりすることに活用する。特に近年は道路インフラの維持管理にかかるコストが莫大になっている。山間部の道路インフラ整備のコストを下げるために、大勢の利用状況から路面の凹凸などの情報を抽出することも集めたデータから可能である。これについては4章で説明する。

第4は、高精度位置推定技術についての研究である。屋外位置推定には衛星測位がよく用いられる。山間部の屋外では比較的良好な位置推定精度が得られる。しかし、第3の研究で述べたように、住民の行動センシングなど利用するときには、より高い精度が望まれる。また、二輪車の運動センシングによって、道路環境のセンシングに使うためには、道路の車線内位置推定なども求められるために、従来の数～十数メートルよりも高いサブメートル精度の位置推定技術が必要とされる。これについては5章で説明する。

2 無線 LAN アクセスポイントによる建物包囲型アドホック通信ノード配置手法

2.1 概要

無線アドホックネットワークは、安価な市販の通信機器を用いて構築できるため、山間部での比較的短期

の通信インフラを整備したいときや、災害時などの臨時通信ネットワークの構築の際には、有効な手段である。山間部や被災地などの建物が点在する広い範囲に効率的に通信ネットワークを構築するときには、無線アクセスポイントの配置が重要である。アドホックネットワークの通信ノードを配置する手法はこれまでに多く提案されている[1][2]。このようなときに建物内に入ることなく、建物外から室内をカバーすることができれば、ネットワークの設置が効率的に行うことができる。

そこで本研究では、建物外から室内をカバーする無線ネットワークを構築するノード配置について取り組んだ。スマートフォン程度の機能を持つバッテリー駆動のネットワークノードを風船に結びつけ、空中に配置を行う。このような配置の利点として、無線電波がほぼ減衰することなく窓ガラスを貫通するので、室内に配置する場合に匹敵する水平方向のカバー範囲が提供できる一方、天井や床の影響を受けずに見通し範囲を広く取ることができるため、1つのノードで複数階をカバーすることができることが挙げられる。提案手法では、複数階建てのビルの内部を全て無線電波でカバーし、衛星経由や後述する車車間通信によるDTNでのインターネット接続を可能にするため、ノード設置可能な場所や、ビルの材質（外壁、内壁、天井、床）による影響を踏まえ、ノードを配置する位置の最適化を行う。また、屋内の通信ノードの位置推定への利用やネットワークの故障耐性の向上などの用途も考え、カバーされる領域が k 個以上のノードに被覆される k 重被覆を保証し、その上でノード数が最小になる配置の最適化を目指した。本手法は風船を利用し屋外の空中に配置するため、三次元の配置の組み合わせ最適化問題となる。これはNP困難な問題であるため、本研究では遺伝的アルゴリズムをベースとしたヒューリスティクスを用いて近似解を求めた。また、既存の減衰予測モデル[3][4][5]は本稿で想定している環境と異なり、有効に利用できない。想定環境において、精度の良い電波強度推定モデルがノード配置の決定や、位置推定に非常に重要である。本研究では新たな電波減衰予測モデルを用いて、ノードの通信可能範囲を算出した。

提案手法の性能を評価するため、ランダム配置、局所探索配置、パンくず法[6]と比較を行った。シミュレーションの結果、同じ実行時間のもとで、他の手法と比べて最大50%のネットワークノード数を削減できることを確認した。次にシミュレーションの正当性を確認するため、シミュレーションで得られた配置座標に実際にネットワークノードの配置を行い、電波の受信強度(RSS)を測定しシミュレーション上のRSSと比較を行った。比較の結果、カバレッジの範囲及びRSSはシミュレーションとほとんど同じであることを確認した。

2.2 問題設定と定式化

風船：風船を三箇所の地点からロープで固定することによって、任意の高さに配置が可能とする。風船の風による揺れは無視できるとする。

ネットワークノード：ネットワークノードは無線アドホック通信機能を持つバッテリー駆動の機器とする。送信電力はバッテリーが枯渇するまで一定とし、受信感度などノードの性能に差はないとする。ネットワークノードと通信可能な最小電波強度を $T[\text{dBm}]$ とする。ネットワークノードAからの受信電力強度が $T[\text{dBm}]$ 以上である電波カバー範囲を R_A で表す。送信機をA、受信機をBとしたときのBの受信電力の算出には、減衰関数 $L(A, B)$ を用いる。

対象とする建物：ビルを想定し、一辺の長さが1の立方体のセルの集合を用いて建物を表現し、セル1つ分を被覆判定の最小単位とする。各セルはユニークなIDを持つ。すべてのセルは空気、内壁、外壁、天井（床）いずれかの材質でできているとする。

以下では、全てのセルのうち、要求された割合以上のセルを k -coverするために必要なノード数を最小化する問題について定式化を行う。

入力

- 地形データ：対象建物の間取り図や、建物周辺の風船が設置可能な場所
- 電波減衰関数 L ：空気、壁、窓など建物の材質を貫通する際、無線電波の減衰具合を求めるモデル
- 必要な電波被覆数 k
- 要求された被覆セルの割合 s

出力

- ネットワークノードの配置場所およびノードの個数

制約

配置するノード（アクセスポイント）の集合を N とする。セルの集合を M 、被覆数を k とする。ノードを a_p で表し、 i 番目のノードを a_{p_i} ($a_{p_i} \in N$)で表現する。個別のセルを c で表し、 j 番目のセルを c_j ($c_j \in M$)で

表現する. ap_i がセル c_j を被覆する状況を関数 $p(i, j)$ で表現する. 関数 p は電波伝搬減衰関数 L を用いて, ap_i からの受信強度が T 以上であれば(ap_i によってセル c_j が被覆されていれば), 1を, そうでなければ 0を出力する. セル c_j が k -cover されているかを表す関数 $coverFlag(j)$ は以下の式で定義される.

$$coverFlag(j) = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^{|N|} p(i, j) \geq k \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

制約条件は以下の式で表される. 被覆されているセル数対全セル数の割合が, 要求された被覆割合 s 以上でなければならない.

$$\frac{\sum_{j=1}^{|M|} coverFlag(j)}{|M|} \geq s$$

目的関数

要求された割合以上のセルを k -cover するために必要なノード数を最小化することが提案手法の目的である. すなわち, 上の制約式を満たしながら, 所要配置ノード数 n を最小にする.

2.3 電波減衰予測関数

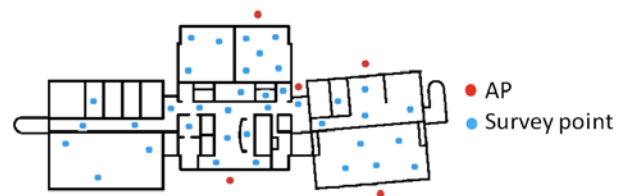
本研究では, 3次元にネットワークノードを配置する方法がメインテーマであり, 既存の電波減衰予測モデルに基づき, 実地で求めた測定値を考慮した電波伝搬損失特性を仮定する. 既存の伝播モデルはアクセスポイントと観測点の直線距離をベースとしたものであり, 間にある障害物や電波の回り込みが考慮されていない. 本研究では, 電波の回り込みと壁の枚数を考慮したモデルを提案した. 提案する電波減衰モデルでは, 簡単な間取り図からでも得ることのできるパラメータを用いて電波の回り込みを考慮し, 既存手法より精度の高い電波減衰の予測を行った.

提案する測定点 A と B 間の電波減衰は, 距離による減衰 $Loss_{dist}$ と障害物による減衰 $Loss_{obst}$ の和の形で表される. 提案するモデルでは, 測定点間の距離による減衰を, 単純な距離による減衰だけでなく, 電波の回折による回りこみの影響も考慮するために, AB 間の直線距離 d_1 と, 伝搬損失が最小となる経路(回り込み経路)の距離 d_2 の2つから減衰を予測する.

本稿で考慮する障害物の材質として, 内壁, 外壁, 床(天井)の3種類を考慮する. 電波減衰モデルの各パラメータ及び障害物(外壁, 内壁, 床)の減衰係数を求めるための実験を奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究棟で行った. アクセスポイントを建物外に置き, 室内の約150箇所からノートPCを用いてIEEE802.11g, 2.4GHz帯の電波強度の測定を行った. 測定値は, 人体による減衰の影響を避けるためにアクセスポイントの方向を向き, PCとアクセスポイントの間に測定者の体が入らない状態で15秒間の値を連続的に測定し, 得られた値の中央値を記録した. 図1に計測箇所の一部を示す. 計測はAPが配置されている階だけでなく, 異なる階でも行った.

計測により得られたデータをもとに回帰分析を行い, 次の減衰式を算出した.

$$Loss_{dist} = 36.67 \log(d_1) + 0.12(d_2 - d_1) \log(d_2) - 69.13 \log(d_2) - 28.51$$



【図1】 測定箇所

2.4 提案する配置アルゴリズム

提案手法では, k -cover されているセルの総数が指定された割合 s 以上となるように, ネットワークノードを三次元上に複数配置する. 提案アルゴリズムでは, 最も少ないネットワークノード数で制約を満たす配置パターンを探索する. k -cover 被覆を満たすセルの総数が要求された割合 s 以上となるように, 初期会として十分なノード数から探索を開始する. このノード数で制約を満たす配置パターン(解)が見つかった場合, ノード数を一個減らして探索を再開する. これを制約を満たす解が見つからなくなるまで続け, 最後に残る解が提案手法の出力となる. アルゴリズムの擬似コードを図2に示す.

Algorithm 1 提案アルゴリズムの擬似コード

```
1: Parameter :  $N$  = Number of elements
2: Input :
3:  $n$  = Number of nodes in a solution candidate
4:  $M$  = Set of all cells need to be covered in the building
5:  $L$  = Set of deployable location
6:  $P$  =  $InitialPopulation(n, N, L)$  //初期解を生成
7: //収束まで繰り返して上位の良い解を探索
8: while true do
9:    $P' = Search(P, M)$ 
10:  //Search() の戻り値が  $\emptyset$  の場合、収束と判定
11:  if  $P' = \emptyset$  then
12:    break
13:  end if
14:   $P = DecreaseNode(P')$  // $P'$  内の各解からランダムに1つノードを削減して、新しい初期解集合を作成
15: end while
16: return the best solution in  $P$ 
```

Algorithm 2 Search 関数の擬似コード

```
1: Input :
2:  $P$  = Population
3:  $M$  = Set of all cells need to be covered in the building
4: Number of generations = 1
5: while Number of generations  $\leq 50$  do
6:   Mutate( $P$ ) //解候補がランダムに交差して局所解への収束を回避
7:   LocalSearch( $P$ , 5) //上位5個の解候補に対してローカルサーチ
8:   Crossover( $P$ )
9:   Evaluate( $P, M$ )
10:  //十世代経過しても上位解が現れなければ、探索を終了
11:  if Converged( $P$ , 10) then
12:    return  $\emptyset$ 
13:  end if
14:  Select( $P$ ) //解候補集団に対してトーナメント選択を行う
15:  if the best pattern in  $P \geq s$  then
16:    return  $P$ 
17:  end if
18:  number of generation ++
19: end while
20: return  $\emptyset$  //解なし
```

【図2】提案手法

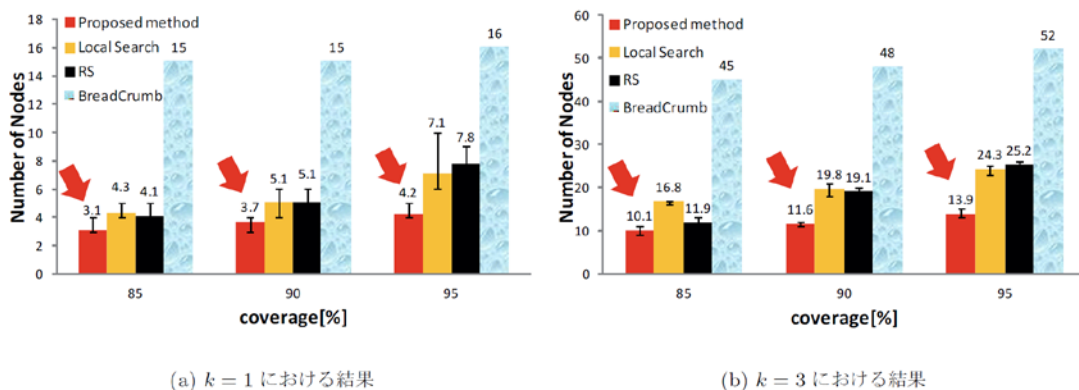
2.5 評価実験

対象建物として、奈良先端大情報科学研究棟 1F-7F を利用した。被覆判定を行う場所は建物内とし、ノードは建物外にのみ配置可能とする。電波強度の閾値 T はビットレート 6Mbps を維持するのに必要な -86dBm とした。

最初の評価実験として、与えられたカバー率を満たすために必要となるノード数の比較をシミュレーションを用いて行った。次にシミュレーションの正当性を確認するために、シミュレーションで得られた配置場所にネットワークノードを実際に配置し、各ネットワークノードからの電波強度を測ることで実機とシミュレーションの差を検証した。最後に、本研究で提案した電波減衰予測モデルを用いて Range base の位置推定実験を行い、位置推定の精度を測定した。

提案手法と比較を行う手法を三つ用意した。ランダムと反復局所探索における計算時間はいずれも提案手法でかかった計算時間と同じとした。各パラメータにおいて、それぞれ 50 試行のシミュレーション実験を行った。パンくず法では、1 つ目のネットワークノードを建物の入口に配置し、以降のノードは等間隔に配置を行っていく。等間隔に配置した後にカバー率が要求されるセルの割合を下回っている場合、逐次カバーできていない場所にノードの配置を行う。この手法のみネットワークノードは室内に配置されるものとする。また、この手法のみ高さ方向のカバー範囲を考慮せず、各階毎に配置を行うものとする。

各被覆数 k についての結果を図 3 に示す。同じ実行時間のもとで、すべての場合において提案手法のノード数が最小の結果となった。



【図3】必要なノード数

3 車車間通信を用いた遅延耐性型情報配信ネットワーク

3.1 概要

スマートフォンの普及により携帯電話基地局網を流れるモバイルデータ通信量が増大している。携帯電話基地局網の負荷の増加は、通信速度や品質などの低下を招くため、携帯電話キャリア各社は基地局の増強などを行っている。しかし、建設コストの増大や、有限の電波資源の枯渇という大きな問題を抱えている。そこで各社は、コンビニエンスストアや飲食店などにWiFi アクセスポイント (AP) を設置し、そのアクセスエリア内にいるスマートフォンはそのWiFi AP を通じてデータ通信をするようにして、携帯電話基地局網に流れるデータの負荷低減(オフローディング)をしている。数km に及ぶ携帯電話基地局のエリアに比べて、WiFi AP の通信範囲は高々数十m 程度であり、また、WiFi AP の設置数も限られているため、十分な効果を上げているとは言えない。今すぐ送受信する必要のない遅延耐性のあるコンテンツを対象に、データの送信タイミングを遅らせたり、スマートフォンを持つユーザが車両に乗りしている場合に、その車両の移動性を利用して移動後に送信を行うなどしてデータをモバイルデータオフローディングの手法を我々の研究グループでは提案している[7]。この車両によってデータを運ぶメッセージフェリーの技術を用いれば、市街地と山間部のネットワークを固定インフラなしに接続することも可能となる。

ところで、車両によってWiFi オフローディングスポットまでデータを運ぶとき、電波ではなく物理的な移動によってデータを運ぶ。そのため車両による中継では、通信の遅延時間が大きくなる。この時間がどの程度であるかが不明であると、どのような遅延耐性データがオフローディングできるか判断できず、オフローディングプロトコルなどの設計が困難である。また、WiFi オフローディングスポットの密度や車両の移動速度などについては、場所によっても異なるが、まずはその遅延時間の大きさについて基準となる定量的な見積もりが求められる。

本研究では、実際に携帯電話会社が設置しているWiFi オフローディングスポットの情報、および、実際のパーソントリップ調査から得られた現実的な交通流データを元にして、走行中の自動車はどの程度の間隔でWiFi オフローディングスポットに遭遇するかを調査した。使用したWiFi オフローディングスポットの情報は2014年6月にウェブサイト[8]から入手したNTT DoCoMoの情報、また、交通流データは東京大学空間情報科学研究センターの人の流れプロジェクト[9]から得た平成20年東京都市圏の情報である。

その結果、東京都心部のようにWiFi オフローディングスポットの密度が高い領域では、2014年現在では10分以内に95%以上の車両がWiFi オフローディングスポットと遭遇できることが分かった。

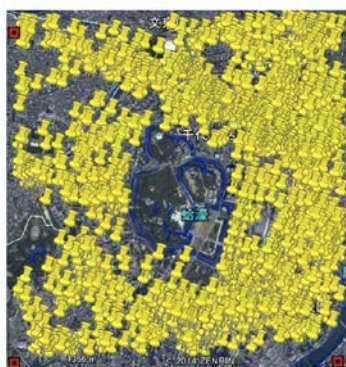
3.2 調査手法

我が国で最もモバイルデータ通信量が集中しているところとして東京都心部、およびその郊外を対象として、走行中の自動車および軽自動車がWiFi オフローディングスポットと遭遇する頻度の基礎調査を行った。対象とするエリアは以下の3カ所である。

エリアA：皇居を中心とする約5km四方のエリア

エリアB：杉並区と武蔵野と三鷹の境を中心とする約5km四方のエリア

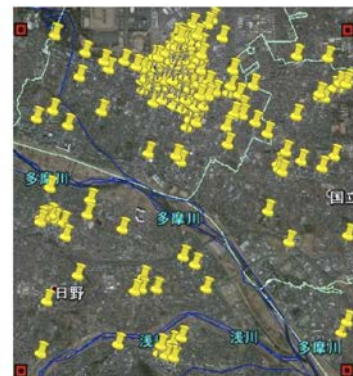
エリアC：日野と国立と立川の境を中心とする約5km四方のエリア



(a) エリア A (人口密度 約 10000[人/km²])



(b) エリア B (人口密度 約 13000[人/km²])



(c) エリア C (人口密度 約 7000[人/km²])

【図4】調査対象エリア

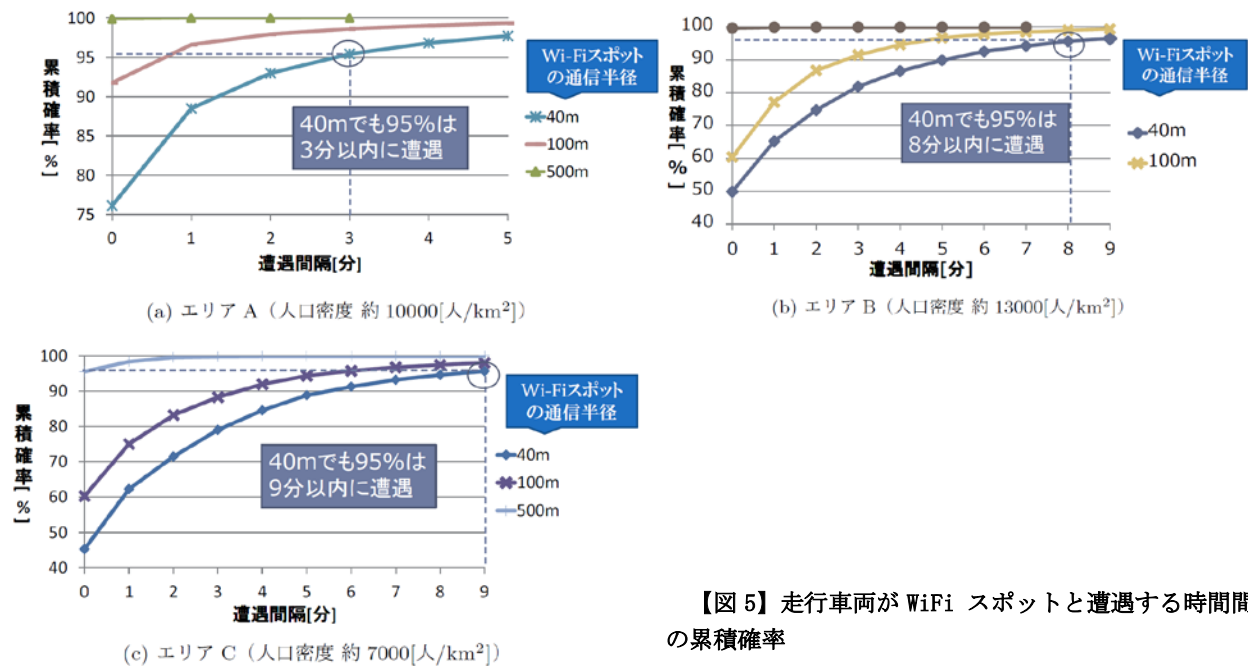
NTT DoCoMo の提供するウェブサイトにある東京都の WiFi AP の件数は 26422 件であり、うち 26420 件の抽出に成功した（アクセス日：2014 年 4 月 5 日）。また、26420 件のうち、25715 件の緯度経度への変換に成功した。東京大学空間情報科学研究センターの「人の流れプロジェクト」のデータでは、平成 20 年東京都市圏の 24 時間分のデータを用いた。図 4 に、WiFi オフローディングスポットの位置をそれぞれ地図上にプロットしたものを示す。5km 四方の各エリアについて WiFi オフローディングスポットは、エリア A では 3425 カ所、エリア B では 553 カ所、エリア C では 355 カ所が含まれていた。

人の流れプロジェクトのデータは、実際の都市圏人口と同じだけの人数分のデータではなく、例えば、平成 20 年東京都市圏のデータでは 70 万人分のモビリティを生成して、1 分毎の位置データとして提供している。そのため、遭遇頻度については、遭遇数で評価するのではなく、遭遇する時間間隔で評価する。

実験条件として、WiFi オフローディングスポットの通信可能範囲を表すパラメータ r を 40, 100, 500[m] の 3 種類に固定して、それぞれの場合での遭遇頻度を解析した。一般的な WiFi AP では見通しで 100m 程度の通信距離があると言われていた。しかし、コンビニなどの屋内に設置された場合では、外の道路まで電波が到達していないことも多い。そこで、40[m]程度の場合での評価を行った。また、車車間通信用途として想定されている IEEE802.11p の規格では、見通しで半径 300[m]以上到達することが考えられている。現在の WiFi オフローディングスポットを IEEE802.11p に対応することで大きなオフローディング効果が得られるのであれば、携帯電話キャリア各社も対応させることが十分考えられるため、それを考えてより広めの 500[m]の場合でも評価を行った。

3.3 調査結果

3つのエリアおよびWiFi オフローディングスポットの3通りの通信可能距離についての評価結果を図5に示す。



【図 5】 走行車両が WiFi スポットと遭遇する時間間隔の累積確率

本研究で行った基礎検討では、以下の点で理想化されており、実際の遭遇間隔とは多少乖離する可能性がある。まずは、1 分間に一瞬でも WiFi オフローディングスポットに遭遇すれば、その 1 分間はずっと遭遇していると判定していることである。次に、WiFi オフローディングスポットとの接続時間を考慮していないことである。実際には IP アドレスを取得して通信が行えるようになるまでにはしばらく時間がかかるため、WiFi AP の切り替えが多い場合では実際にデータ通信できる時間は限られてしまう可能性がある。最後に、コンビニなどの建物内の WiFi AP と近隣の道路を走る車両が通信できるのかどうかと言う点である。現在の WiFi オフローディングスポットの電波は、実際は道路方向には 40[m]も飛んでいない可能性があるため、その調査が必要である。

上記のような検討すべき課題はあるものの、本稿で示した基礎検討結果によって、車両を使ったモバイル

データオフローディングでは、遅延許容時間の大きさを数分から十数分と大きく見積もれることを示すことができた。

4 二輪車の車体運動センシングシステムの開発とそれを利用した道路環境センシング

4.1 概要

情報通信機器の発展により高度交通システム (ITS) が盛んに研究、実用化されてきている。既に実用化されたり現在開発されている ITS サービスやアプリケーションは、そのほとんどが四輪車を想定としており、二輪車の特性を考慮していない。特に自動ブレーキのような交通安全支援システムは、運転操作に介入する。二輪車の車体の運動は、四輪車の車体の運動と比較して不安定であり、運転者の意図しない操作への介入は、逆にバランスを崩して事故を誘発する。搭乗者がキャビンの中にいる四輪車と異なり、二輪車は搭乗者が外界に対してむき出しであるため、二輪車の交通事故では、四輪車のそれと比較して、搭乗者の重傷率は約 5 倍、致死率は約 3 倍であり [10]、二輪車向けの交通安全支援システムの開発も重要な課題である。

二輪車向けの交通安全支援に関する ITS の開発が遅れている理由の一つに、運転者を含めた二輪車の車体運動のダイナミクスモデルが完全に解明されていないという現状がある。二輪車の車両の運動が四輪車に比べて複雑であり、検証に大量のデータを必要とするにも関わらず、十分取得されていない [11] [12]。このようなデータを取るためには、多くのユーザに参加してもらってセンシングし、データを集めることが一つの解決法となる。しかし、ユーザ参加型センシングを実現するためには十分なインセンティブを与えるか、行政等からの強制力がなければ、現実には難しい。

また、現在、道路インフラの維持管理にかかる費用が全国の自治体で大きな問題になってきている [13]。道路インフラを低コストで維持するためには、道路が劣化する前に補修して長寿命化を図ることが肝要であるが、そのための道路路面調査にかかる費用が大きく、これが問題となっている。上記の二輪車の車体運動のダイナミクスモデルの解明のためのセンシングによって取得されたデータが、道路の路面調査に活用可能であれば、二輪車の運動センシングは、二輪車ユーザや二輪車産業会のためのみならず、公共のためのセンシングとなる。そこで、道路の路面調査が二輪車を用いたセンシングで安価に可能であることについて、本稿で説明する。

本研究では、二輪車の車体運動のダイナミクスモデルの解明のために取得すべきデータの要件、そして、道路路面調査するために取得すべきデータの要件について論じ、そのセンシングを行うためのセンシングデバイスの構成について考察し、実際にセンシングデバイスを試作した。

4.2 車体運動の解析

二輪車は、車体構造上静止時に自立不可能な不安定な構造をしている。また、低速時に特に不安定になりやすい構造であり、前輪が横滑りすると転倒しやすい特性を持つ。そのため、四輪車では起こらない単独の転倒事故もよく起こる。さらに、旋回動作では車体を傾斜させることにより旋回力を発生させるため、旋回中のブレーキ操作はジャイロ効果により車体を起こすことにつながり、旋回力を低下させることになる。上記のような特性から四輪車で実用化が進んでいる自動ブレーキを使った交通安全支援は、二輪車の運動性能を阻害するため、そのまま二輪車へ応用することが難しい。

二輪車の交通安全支援として車両運動制御を行うためには、二輪車の車体運動を考慮して行う必要がある。しかしながら、二輪車の車両運動は次のような理由から複雑であり、詳細に解析されているわけではない。二輪車は、車体を傾けて旋回するローリング動作や、加減速時に車体が前後に動くピッチング動作が大きく起こり、3 次元的な車体の動作が起きる。また、二輪車の車重に対して運転者の体重の占める割合が大きいこと、運転者の重心位置が高いこと、運転者はシート上で大きく動いて二輪車を操作することなどから、運転者の運転動作が車両全体の動きに大きく影響する。運転者の動作は個人差が大きく、定量化が難しい。

二輪車メーカーや、それらが参加する自動車技術会の二輪車の運動特性部門委員会では、二輪車の車体運動を解明するために、二輪車に運動センサ等を搭載してデータを収集する実験を行っている [12]。ここでは、車両運動、人間による制御入力、位置情報の詳細な取得に高価な計測機材を車載した車両を使用している。これらの装置は、例えばジャイロセンサは 200 万円以上と、非常に高価であり、多数の車両を用意することは困難である。また先述したように運転者の運転個性によって、測定結果が大きくばらつく。そのため、限られた車両とテストライダーから得られたデータでは、運動のダイナミクスを解析するには十分ではない。

このように運動モデルの解析に必要なデータを高精度で必要量取得することは現状では困難である。しかし、精度の低いセンサでも大量のデータを得ることができれば、この運動モデルの解析に寄与できると考えられる。

二輪車の正確な車体運動モデルが利用可能になると、より高い安全性が担保された車体設計や、自動制御が可能となり、二輪車の安全性・快適性が大きく向上することになる。

4.3 道路路面調査

道路設備の維持管理にかかる費用が全国の自治体で大きな問題になってきている。静岡県が管理する道路総延長は2,661kmであり、今の道路環境を維持するためには今後50年間において年平均68億円の補修費用が必要になる[13]。道路維持管理費を削減するためには、道路の長寿命化を図ることが重要である。道路の傷みが小さいうちに修繕することで、トータルの補修費を小さく抑えることができる。傷みの小さいうちに修繕必要箇所を見つけるためには、短い間隔で定期的に管理道路を点検調査する必要がある。しかし、道路路面調査費用が必要になる。

今年3月に浜松市道路課、道路総務課において聞き取り調査を行った。それによると、道路路面調査は民間の道路コンサルタント会社によって行われ、その結果を元に市は補修場所を決定する。なお、道路路面調査費用は、補修費と比較しても無視できない額であり、費用対効果から浜松市では管理道路総延長8,359kmのうち、主要道の1,100kmのみを道路コンサルタントによって定期的に調査し、残りの7,000km以上は主に市民による通報を元にして調査をし、補修計画を立てている。市民からの通報による補修依頼は、そのほとんどが道路の傷みが大きく進行してからの通報であり、道路の長寿命化は困難である。

一般の車両に搭載された何らかのセンサによって得られた情報から道路の凹凸などの状況が抽出できれば、この問題を解決する可能性を秘めている。普段から道路を走行する二輪車に運動センサを搭載し、日常的に車体の動きをセンシングする。この二輪車に搭載した運動センサを活用して、道路路面の凹凸を位置情報とともにセンシングしてデータベース化し、道路の維持管理、道路の長寿命化に役立てる。

二輪車を路面調査のセンサとして利用する特長としては、四輪車に比較して車載センサが路面の凹凸により敏感に反応することが挙げられる。センサの設置位置を考えると、二輪車ではサスペンションの上下、例えばハンドル部とフロントタイヤフェンダー部にそれぞれ容易にセンサが設置できる。対して四輪車では、車内にセンサを設置することは容易でも、バネ下にセンサを設置することは構造上簡単ではない。特に高級車のような乗り心地を重視した車両では、路面の凹凸を車内に伝えないように設計されており、大きな段差はセンシングできても、道路の劣化初期の小さな轍などのセンシングは難しい。さらに、二輪車はその車体の細さから車線内を広く使って走行することが多い。こうすることで轍のような道路を横断する凹凸もセンシング可能である。

我が国においては二輪車の交通量は四輪車に比べて少ないが、道路路面調査用のセンシングデータは必要量以上収集できればそれ以上は不要であるため、一定の交通量があれば十分である。特に定期的にしかも網羅的な走行が起こる郵便配達、新聞配達、金融機関の訪問においては、二輪車がよく用いられている。さらに、二輪車の主要市場は東南アジアの新興国であり、世界の販売シェアの80%を占める[14]。ASEAN諸国では今後大規模な道路インフラの整備、維持が必要であり、二輪車車載センサを用いた道路路面調査による低コストでの道路維持の活用が期待される。

最後に、道路環境を良い状況に保つことは特に二輪車の事故防止にもなる。

4.4 二輪車センシングデバイスの要件

ここでは、前節で述べた2つのニーズについて、それを満たすために必要なセンシング項目を考察する。実現可能性を考慮して、手に入りやすいセンサや、二輪車の主要市場でもある東南アジアの新興国でも普及の兆しを見せているスマートフォンに内蔵されたセンサを、センシングデバイスとして利用することができるかを検討した。

車体運動のセンシング

二輪車の車体運動に関する研究は、まずSharpによって直進安定性の解析が行われている[15]。また、現在において、二輪車メーカーが参加する自動車技術会のワーキンググループによる二輪車の車体運動の定量的評価に関する実験[12]が行われている。これらの計測項目から、車体運動のセンシングには、操舵角、前後左右方向の速度、ヨー、ロールそれぞれの角度と角速度、前後輪の横すべり角を求められると、二輪車の運

動解析について十分であると言える。また 10Hz の振動を検知するために、標本化定理より 20Hz 以上のサンプリングで時系列情報を取得できることが望ましい。

二輪車による道路路面状況のセンシング

国際ラフネス指数 (International Roughness Index) は、道路路面の平坦性を評価するための世界共通指標として、世界銀行より提案されている [16]。走行車両内の運転者や乗客の乗り心地を考慮して設計された指標であり、進行方向の道路の掘れ量の深さから算出される。

IRI の算出法には、運転者の体感による主観的なものから、水準測量をする客観的な測定法がある。このうち最も実用的とされるものは、任意の測定装置で路面の縦断プロファイルを測定し、その凹凸の変化を元に以下の式を用いてシミュレーションするものである。定速度 V (m/s) で距離 L (m) 走行したときは、縦揺れ量 IRI (mm/m) は次式で表される。

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} |\dot{z}_s - \dot{z}_u| dt$$

ここで、 z_u は、バネ上質量の高さ位置 (mm)、 z_s はバネ下質量の高さ位置 (mm)、 \dot{z}_s 、 \dot{z}_u はそれぞれ z_u 、 z_s の時間 t (s) の導関数 (m/s) である。

二輪車センシングデバイスの構成

上記において、二輪車に搭載するデバイスで取得が望まれるセンシング項目について述べた。以下では、デバイスの普及可能性なども考慮したセンシングデバイスの構成について議論する。

自動車技術会のワーキンググループで用いられている車両に搭載された計測装置は 1 車両当たり 1000 万円程度のコストがかかっている。一般ユーザに搭載してもらう計測装置は車両価格の数%以内に抑えないと普及が難しい。一般的にスマートフォンには 9 軸運動センサ (加速度、ジャイロ、地磁気の各 3 軸センサ) の他に、位置情報を取得する GPS 受信機が内蔵されている。GPS と 9 軸運動センサで、先述した二輪車の車体運動と路面調査のそれぞれ一部のセンシング項目は取得することができる。そのため、ここで開発する専用のセンサの構成は、このスマートフォンのセンサ構成をサブセットとして持つように拡張したものとする。

さて、近年のスマートフォンの普及により、スマートフォンに内蔵されるセンサチップの出荷数が増え、市販品としても安価に手に入るようになってきた。現在、9 軸運動センサがワンチップ化されたものが、数千円程度で購入可能である。センシングシステムのセンサの設置場所は、二輪車の車体を接合部毎にわけ、フロントサスペンションの上下、リアサスペンションの上下の 4 カ所とし、それぞれに 9 軸センサを配置する。複数の 9 軸センサを用いることによるノイズの軽減や、現在の構成では計測できない操舵角の推定などを行う。

4.5 二輪車センシングデバイスの試作

ハードウェア構成

設計した今回のセンシングデバイスの諸元を表 1 に示す。

【表 1】設計したセンシングデバイスの諸元

要素	品名	販売元	値段	備考
マイコン	mbed LPC1768	NXP Semiconductors	5,400 円	32bit 96MHz CPU
mbed 評価ボード	☆ board Orange	きばん本舗	4,000 円	SD カードスロット, LCD
GPS 受信機	Venus638FLPx 搭載受信機	Sparkfun	49.95\$	20Hz, NMEA 出力
セレクタ	TC74HC4066A	東芝	52 円	CMOS アナログスイッチ
その他	プラスチックケース, ユニバーサル基板, GPS アンテナ等		約 3,000 円	
運動センサ	MPU-9150 9 軸センサモジュール	Strawberry Linux	2,160 円 × 4	I2C 駆動, 4 個利用
その他	コネクタ, 6 軸ケーブル等		約 1,000 円 × 4	
SD カード	8GB+WiFi	Eyefi ジャパン	4,980 円	WiFi 経由でデータ送受信可能

マイコンとしては、32bit の ARM Cortex M3 プロセッサを搭載し、プロトタイピング用の開発環境も整っている NXP 社の mbed LPC1768 とその評価ボードを前回から引き続いて使用した。GPS はリーズナブルに手に入

る市販品のうちで最も測位間隔が短い 20Hz で測位できるものを選定した。

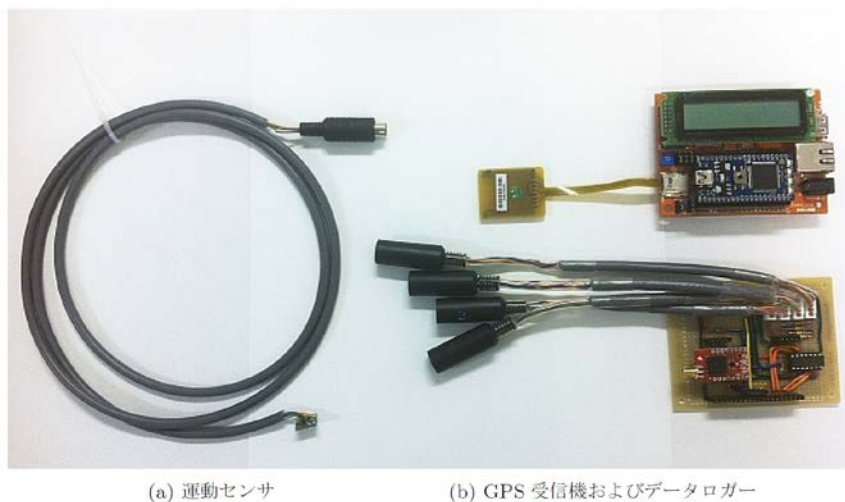
運動センサは、最も安価に手に入る 9 軸センサを利用した。このセンサは I2C 規格のシリアル通信によってデータを通信する。今回も車両の 4 カ所にセンサを設置するが、mbed LPC1768 では I2C のポートを 2 つしか用意されていない。そこでアナログセレクタ 74HC4066 を用いて 4 つのセンサをスイッチングし、逐次的に情報を収集するようにした。そのために厳密には 4 つのセンサの値を同時にセンシングはできないが、4 つの I2C ポートがあったとしても、どちらにせよマイコンの CPU は 1 つであるために逐次的なセンシングになるため、今回の方法を採用した。

運動センサは、電源の 2 線とシリアル通信の 2 線の 4 軸のケーブルで接続される。シールドケーブルを使用し、シリアル通信の信号線はそれぞれ電源とツイストさせることでノイズの低減を行っている。予備実験として、エンジンを掛けた自動二輪車のエンジン周辺部、スパークプラグ周辺部にセンサのケーブルを巻き付けて、通信エラーの評価を行ったが、エラーは起こらなかった。

各運動センサはコネクタで接続し、データロガーと分離できようになっている。これにより、利便性を向上した。また、センサに必要な信号線は 4 本であるが、コネクタは 6 芯とし、センサ側のコネクタで電源をデータロガー側の別の信号線に戻すようにしている。これにより、データロガー側ではセンサの断線を検知できるようにしている。

最後に、SD カードはそれ自身が WiFi 通信可能で、近隣の WiFi に接続された PC とのデータ交換ができるもの (Eyefi) を利用している。これにより、センシングデバイスのケースを開けずにログデータが取得できる。また、センシングの動作途中でもデータを PC に移すことが可能となる。

試作したデバイスの外観を図 6 に示す。



【図 6】 試作したセンシングユニットの外観

組込みプログラム

本デバイスを用いてセンシングするための組込プログラムについて、メインルーチンでは、GPS と運動センサが取得したデータを用意したデータバッファを介して SD カード内にファイルとして保存する。

GPS 受信機からのデータは、一度 GPS 受信機への初期設定が終わると、定期的に GPS 受信機から mbed のシリアルポートへ届けられる。データが届くタイミングが GPS 受信機に依る。このデータは、シリアルポートに到着する度に割り込みを発生させ、用意したデータバッファに保存していく。

対して、運動センサは決まったタイミングで mbed 側から読み込む必要がある。そこでタイマ割り込みを用いて、運動センサの値を読み出しに行くようにした。100Hz でのサンプリングを実現するため、タイマ割り込みは 10ms 毎に起こるようにした。

ここで、割り込みの優先度は、能動的なセンシングが必要な運動センサのタイマ割り込みの方に高い優先度を与えるようにした。

5 衛星測位による屋外位置推定とその精度向上手法

5.1 概要

位置情報は様々なシステムで利用されている。これを活用することでユーザに対しルート案内や Location based service などの有益な情報を提供することが可能となる。高度交通システムでは、さらに安全運転支援への活用が期待されている。

自位置を取得する手法として、GNSS (Global Navigation Satellite System) が代表的であり、特にそのうちでも GPS (Global Positioning System) が一般的である。このような測位システムでは、屋外のどのようなシチュエーションでも高確度な測位ができることが理想的である。

GNSS では、地上の受信機は、上空にある衛星から測距信号を受信し、その到達時間と、測距信号から得られる航法メッセージにある衛星の位置の情報から、その衛星までの距離を測定する。この距離は擬似距離と呼ばれる。擬似距離には、様々な要因の誤差が含まれており、これが測位精度を低下させる。擬似距離の 1 つにでも大きな誤差が含まれているものがあると、それによって測位結果が影響を受け測位精度が著しく低下する。測位精度を向上させるためには、そのような大きな誤差を含む擬似距離を測位計算から排除するか、もしくは、適切に誤差を補正してから測位計算を行うという方法がとられる。

提案手法では、単独の受信機において、測位計算を異なる衛星の組み合わせで複数回行い、それぞれの計算後の残差の大きさから、大きな誤差が含まれている擬似距離を特定する。その後、誤差の小さい擬似距離のみを用いて測位計算を行い自位置を算出する。算出された測位位置は一般に高確度・高精度である。

次に、上記のようにして自位置をほぼ正確に算出した移動基準局は、近隣の受信機のその誤差情報をモバイル通信によって配布することで周囲の受信機の測位精度を向上させることができる。移動基準局となる受信機では、測位計算から排除した擬似距離を含む全ての擬似距離についてのディファレンシャル情報を測位位置から求めることができる。近隣の受信機 (ユーザ局) は、衛星からの航法メッセージによる大気圏補正量の代わりに、近隣の基準局が生成したディファレンシャル情報を用いて擬似距離の誤差を補正して測位計算を行う。これにより、ユーザ局が補足している衛星が少なく、誤差を大きく含んでいる擬似距離を測位計算に使わざるを得なかった状況でも、適切に擬似距離に含まれる誤差を補正することができ、測位計算に利用できるようになる。

提案手法を評価するため、実際に GPS 受信機で測定した擬似距離を用いて、測位計算を行い測位精度と精度を導出した。GPS 受信機の実機を複数台使い、ある衛星との擬似距離に作為的に +20m のバイアス誤差を与えて評価を行った結果、8 衛星による測位でも 10m 以上の水平方向誤差があった従来手法と比べ、提案手法では 6 衛星での測位でも水平誤差を 2m 以内に抑えることができた。

5.2 測位計算における擬似距離残差情報を元にした測位精度向上手法

GNSS では、受信機の三次元位置と衛星と受信機間の時計クロック誤差との 4 つの未知数を求める必要がある。従って、4 つ以上の衛星が必要とされ、それら衛星との擬似距離から最小自乗法を用いて計算する。最小自乗法では、入力で与えた擬似距離の残差の自乗和が最小になるように収束し、測位位置が確定する。擬似距離に誤差が全く含まれていない場合、これらの残差はすべて 0 になる。もし、誤差の大きな擬似距離が 1 つでも含まれている場合、測位計算では自乗和が最小になるように収束が働く。そのため、誤差の無い擬似距離までが残差調整される。結果、バイアスされた測位結果となる。

一般的な測位計算アルゴリズムでは、測位計算途中である擬似距離の残差が一定値より大きくなった場合に測位計算から排除したり、ある仰角以下の衛星を測位計算から排除したり、重みを小さくしたりして、より尤もらしい測位位置を算出している [17][18]。しかしながら、このような最小自乗法の計算では、計算に用いる擬似距離の誤差の大きさの順と、計算後の擬似距離の残差の大きさの順には必ずしも相関があるわけではなく、誤差の大きな擬似距離を測位計算から正しく排除できない。

既存手法として、大きな遅延を含む擬似距離を特定するために、測位計算に用いる衛星の組み合わせを変化させて測位位置を調べる手法がある。測位された位置をクラスタリングして分散を調べ、真値を含むクラスタを推定して、測位精度をあげると言ったものである。しかしながら、擬似距離のうち大きな遅延を含むものが 2 つでもあると測位位置のばらつきが大きくなりクラスタリングができなくなり、どの擬似距離の誤差が大きいか特定が困難になる。

そこで本研究では、ある DOP の小さい 5 個以上の衛星の組み合わせに対して、少なくとも 5 つの擬似距離

に含まれる誤差が小さければ、残りの全ての擬似距離に大きな誤差が含まれていても測位確度と精度を向上させられる手法を提案した。

本研究では、測位計算後の擬似距離の残差に注目して、大きな誤差を含む擬似距離の排除手法を提案する。表 2(b)に示されるように、提案手法では、少なくとも 5 つの衛星との擬似距離に含まれる誤差が十分小さければ、残りの衛星は全てマルチパスなどの影響を受けていたとしても、高精度に測位が可能である。

【表 2】 8 衛星での測位計算後の残差 (実測)

(a) 測位計算時のパラメータ									
PRN number	PRN 5	PRN 9	PRN 15	PRN 18	PRN 21	PRN 24	PRN 26	PRN28	
Atmospheric Correction a_i [m]	-8.269	-6.110	-6.168	-13.401	-8.952	-7.276	-8.157	-16.48	
Elevation Angle θ_i [deg]	41.4	70.4	66.6	22.4	39.4	52.6	40.8	13.4	
Weight $w_i (= 1/\sigma_{EL}(\theta_i))$	0.827	1.178	1.147	0.476	0.793	0.993	0.816	0.291	

(b) 測位後の各擬似距離の残差 d_i ([m])										
PRN number	H error	PRN 5	PRN 9	PRN 15	PRN 18	PRN 21	PRN 24	PRN 26	PRN28	$\sum (d_i/w_i)^2$
(0) Without any error	0	0.794	-2.017	0.293	1.824	1.037	0.382	0.728	1.078	8.226 [m ²]
(1) 8 prns.	0.764	0.592	-1.038	0.611	-0.662	-0.048	0.799	-0.142	-1.647	3.203 [m ²]
(2) 8 prns. added error	9.973	-8.515	0.795	-1.478	-1.578	-2.936	4.158	5.815	12.66	112.6 [m ²]
(3) 7 prns.	1.261	-	-0.924	0.482	-0.719	-0.227	1.008	0.227	-0.759	2.727 [m ²]

(2)は PRN5 に+20m の誤差を付加して計算したものである。

提案手法は、一般的な測位に用いられる擬似距離と航法メッセージの情報のみを使い、その他の余分な情報は必要としない。大きな誤差のない衛星の集合を得る提案手法の手順を以下に示す。

入力 S : 全ての捕捉している衛星からの擬似距離 th : 誤差の閾値 $f(s)$: 衛星の組合せ s で測位した場合の測位計算の自乗残差	<ol style="list-style-type: none"> 1: $C \leftarrow \emptyset, E \leftarrow \emptyset$ 2: $s \leftarrow S$ 中の新しい 5 つの衛星の組合せ 3: if そのような s が存在しない then 失敗終了 4: if $f(s) > th$ then goto 2 5: $C \leftarrow s, S \leftarrow S \setminus s$ 6: if $S = \emptyset$ then 成功終了 7: $s \leftarrow S$ 内のある 1 つの衛星 8: if $f(C \cup s) < th$ 9: then $C \leftarrow C \cup s$ 10: else $E \leftarrow E \cup s$ 11: $S \leftarrow S \setminus s$ goto 6
出力 C : 誤差の少ない擬似距離の集合 E : 誤差の大きい擬似距離の集合	
内部変数 s : S の部分集合	

従来の測位手法では、測位計算途中である擬似距離の残差が一定値より大きくなった場合に測位計算から排除したり、低仰角の衛星の擬似距離を省いて計算することで、測位確度を確保していた。しかし、必ずしも大きな誤差を含む擬似距離の残差が大きくなるとは限らないため、大きな測位確度の向上は望めない。

例えば、表 2(b)-(2)では、PRN5 に大きな誤差が含まれていたにもかかわらず、測位計算後に残差が最も大きくなるのは PRN28 である。

提案手法は、少なくとも 5 つの擬似距離が含む誤差が小さい場合は、残りの全ての衛星が大きな誤差を含んでいても特定することが可能となる。また、提案手法は、マルチパス遅延の原因となるような建造物の地図や、それを検出するようなカメラと言った特別な装置を必要としない。現在の受信機が受信可能な情報のみを用いて測位確度を向上させることができる。

5.3 近隣の端末との協調による測位精度向上手法

衛星からの擬似距離に含まれる誤差の要因は地理的に相関があるものが多く、複数の受信機で協調測位することによって、相殺することができる。DGPS は、位置が既知な基準局が、それらの誤差を相殺するディファレンシャル補正量と呼ばれる補正量を算出して、放送することで、その基準局から一定距離以内に居る受信機の測位確度を向上させるものであった。DGPS は世界中で利用されているが、リアルタイムに補正情報を放送する基準局は、日本国内ではおおよそ 200km 四方に 1 つある。さらに、基準局の維持費が高いことや、

単独測位の精度が向上したことなどから 2008 年に民生用の提供が終了した。

近年の GPS 受信機は、スマートフォンや携帯電話などの携帯電話網や WiFi などのアドホック通信に対応したデバイスに搭載されていることが多く、その通信網を通じて近隣の受信機に情報を放送することが可能である。単独測位の確度や精度が向上しているため、多くの衛星からの測距信号を良好な状態で受信している受信局はほぼ正確な位置を測位できる。そのため、そのような高確度高精度で測位をしている受信機が DGPS の擬似基準局となることで、リアルタイムの絶対測位確度および精度の向上が期待できる。

たくさんの衛星からの測距信号を良好な状態で補足している受信機は高確度高精度に自位置を推定できる。また、5.2 の手法を用いることで、誤差の大きな疑似距離を排除することができる。

近隣に受信状態の良くない受信機がいるとする。測定した疑似距離に誤差の大きなものが含まれ、特に誤差の小さなものが 4 個未満であると、バイアスのなずれが起り、測位結果が真値周辺に分布しない。もし、受信状態が良好な近隣の受信機から、先述したディファレンシャル補正量の情報を得ることができれば、誤差の大きい疑似距離の誤差を補正した上で、誤差の少ない疑似距離として測位計算が行え、測位確度の向上が見込める。提案手法で生成されるディファレンシャル補正量は、基準局の 3 次元位置、時刻、各衛星番号とその補正量が分かれば十分である。1 項目あたり 4 バイト、32 衛星分として、送信するデータ量は 1 回あたり高々 260 バイトである。これは通信に大きな負担をかけない。

上記の手法を mobile DGPS と定義し、以下にディファレンシャル補正量を生成する基準局、および、それを受信する移動局となる GPS 受信機の動作についてまとめる。本稿では、測位計算で用いられる最小自乗法の残差の大きさに注目し、異なる衛星の組み合わせで測位計算を行うことで、大きな誤差が含まれている疑似距離を特定して排除し、高確度・高精度に単独測位する手法を提案した。

このアルゴリズムを次に示す。

mobile DGPS 基準局の動作		mobile DGPS 移動局の動作	
Step 1	受信状態が良好で、少なくとも 6 つ以上の衛星から疑似距離を測定できていることを確認する。	Step 1	上記の mobile DGPS 基準局の Step 1 の条件に合わないことを確認する。
Step 2	単独の測位結果から、各衛星の疑似距離のディファレンシャル補正量を算出する。	Step 2	近隣の基準局からディファレンシャル情報を直接受信する、または、自身でラフに測位した位置を元に、インターネットを介して近隣の基準局が生成したディファレンシャル補正量を受信する。
Step 3	ディファレンシャル補正量を通信網を通じて、近隣の受信機に放送する。WiFi などのアドホック通信や、例えばクラウドを介して、インターネット上に流布する。	Step 3	航法メッセージから得られる大気圏遅延補正量の代わりに、受信したディファレンシャル補正量を用いて測位計算を行う。

実際の受信機を用いて疑似距離を測定し、ある 1 つの衛星の疑似距離に作為的に +20m のマルチパス誤差を与えて測位計算実験を行った。その結果を表 3 に示す。提案手法を用いない場合は 8 衛星による測位でも 10m 以上の水平方向誤差があったにも関わらず、提案手法では 6 衛星の測位でも水平誤差を 2m 以内に抑えられることを示した。

本研究では、時系列情報の利用や、測位結果の平均化などの統計的処理については適用していない。提案手法はそのような精度向上手法と相反するものではないため、それらを用いてより測位確度および精度を向上させられると考えられる。

【表 3】提案手法の有無による測位結果の dRMS の変化

(a) 衛星 5 を含まない測位での水平測位誤差					(b) 衛星 5 を含む測位での水平測位誤差				
補足 衛星数	単独測位 [m]		提案手法 [m]		# of visible satellites	Single PP [m]		mDGPS [m]	
	平均 μ	標準偏差 σ	平均 μ	標準偏差 σ		Ave. μ	SD σ	Ave. μ	SD σ
4	6.164	15.77	14.15	40.62	4	53.69	118.1	8.457	23.98
5	1.972	1.322	3.232	4.118	5	21.05	10.34	2.885	2.878
6	1.478	0.781	1.727	0.904	6	14.91	3.986	1.956	1.074
7	1.374	0.385	1.374	0.385	7	11.84	1.381	1.591	0.806
					8	10.14	0.253	1.335	0.600

6 まとめ

本研究は、都市部で展開される高速通信ネットや公衆無線 LAN などの恩恵を受けられていない山間部への具体的な地域情報ネットワークの敷設を可能とするための基礎研究を行った。山間部の限界集落ではコストの関係でインフラ整備が進まないことや住民が高齢化しそのようなサービスを求めないこともあるが、提案するシステムを組み合わせることで、即時通信はできないにしても安価にインターネットにつながる無線通信インフラを設置することができる。上記で紹介したような地域内だけの安心安全だけでなく、例えば自治体の医療ネットワークと接続することでも安心安全に寄与できるようになる。また、このようなシステムが各集落で導入されれば、それらを相互につなぐことにより、より高度な情報共有も可能となる。

今回の研究期間では、提案したそれぞれの方法を統合して実証する実験まで行うことができなかった。今後は、今回提案したそれぞれの要素技術の向上、および、それらを結合させて具体的なサービスの実証実験を行うことを課題とする。

【参考文献】

- [1] M. Younis and K. Akkaya, "Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey", *The Journal of Ad-Hoc Networks*, vol. 6, pp.621-655, June. 2008.
- [2] P. Gajbhiye and A. Mahajan, "A Survey of Architecture and Node deployment in Wireless Sensor Network", *Applications of Digital Information and Web Technologies*, pp.426-430, Aug. 2008.
- [3] Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administration (CEPT), "The analysis of the coexistence of FWA cells in the 3.4 - 3.8 GHz band", tech. rep., ECC Report 33, May. 2003.
- [4] V. Erceg, K.V.S. Hari, M.S. Smith, and D.S. Baum, "Channel models for fixed wireless applications", tech. rep., IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, Jan, 2001.
- [5] J.E. Berg, "4.6 building penetration," in "Digital Mobile Radio Toward Future Generation Systems", COST Telecom Secretariat, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, pp.167-174, COST 231 Final Rep., sec. 4.6, 1999.
- [6] M. T. Refaei, N. Moayeri, and M.R. Souryal, "Interference Avoidance in Rapidly Deployed Wireless Ad hoc Incident Area Networks", *INFOCOM Workshops, IEEE*, pp.1-6, April. 2008.
- [7] 西岡哲朗, 木谷友哉, 太田剛, 峰野博史, "モバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP) の提案," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム論文集, pp. 613-620 (2014).
- [8] NTT ドコモ, "docomo Wi-Fi エリア検索," 入手先 (http://sasp.mapion.co.jp/b/docomo_wifi/) (2014/06/01).
- [9] 東京大学空間情報科学研究センター, "人の流れプロジェクト," 入手先 (<http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>) (2014/06/01).
- [10] 総務省統計局, "平成 24 年中の交通事故の発生状況," 入手先 <<http://www.estat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000019681521>> (2013/05/17).
- [11] 藤井茂, 塩澤総一, 品川晃徳, 岸知昭, "二輪車の操縦特性調査," *YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW*, 2009-12 No.45, 入手先 <<http://global.yamahamotor.com/jp/profile/craftsmanship/technical/publish/no45/pdf/gr03.pdf>> (2014.05.16).
- [12] 渡辺淳士, "2012 年二輪車の運動特性部門委員会 WG 二輪車の定量的評価手法構築～走行実験より学んだ事～," *Motor Ring*, No. 34, 自動車技術会, 2012, 入手先 <<http://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor34/mr3409.pdf>> (2014.05.16).
- [13] 静岡県交通基盤部道路保全課舗装班, "舗装の長寿命化に必要なもの," 入手先 <<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-230/ijikanri/hosou.html>> (2014.05.16).
- [14] 一般社団法人日本自動車工業界, "JAMA - 世界生産・販売・保有," 入手先 <<http://www.jama.or.jp/world/world/>> (2013/05/17).

- [15] R.S. Sharp, "The stability and control of motorcycle," Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 13, No. 5, 1971.
- [16] 池田拓哉, 東嶋奈緒子, "国際ラフネス指数の計測方法に関する研究," 土木学会舗装工学論文集第 3 巻, pp.9-14, 1998.
- [17] P. Misra and P. Enge, "GLOBAL POSITIONING SYSTEM, Signal, Measurements, and Performance," Second Edition, Ganga-Jamuna Press (2006)
- [18] 坂井丈泰, GPS のための実用プログラミング, 東京電機大学出版局(2007).

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
災害時における建物包囲型アドホック通信ノード配置手法の提案	情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2012) シンポジウム論文集	2012年7月
GNSSにおける擬似距離残差情報を元にした測位精度向上手法および近隣の端末との協調による測位精度向上	電子情報通信学会信学技報, vol. 113, no. 165	2013年7月
Balloonnet: a Deploying Method for a Three-Dimensional Wireless Network Surrounding a Building	Proceedings of 2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013)	2013年10月
A Prototype of a Vehicle-Motion Sensing System with a Smartphone and Dedicated Sensing Devices	Proceedings of the 2nd International Symposium on Dynamics and Control of Single Track Vehicles (BMD: Bicycle and Motorcycle Dynamics 2013)	2013年11月
二輪車の車体運動解析および二輪車による道路路面調査のためのセンシング機器の設計と試作	情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2014) シンポジウム論文集	2014年7月
BalloonNet: 無線ネットワークノードを用いた建物包囲型三次元配置手法	情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 8	2014年8月
A Cooperative GPS/GNSS Positioning Method with Neighboring Receivers	Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2014)	2014年9月
東京都心部と郊外における走行車両の公衆無線 LAN アクセスポイントとの遭遇頻度の基礎調査	第 22 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2014) 講演論文集	2014年12月