

LPWA を利用したフィールド実験に関する報告

一般社団法人 北海道リージョナルリサーチ
CPS 研究室 室長 田中 譲
主任研究員 野口 孝文

1. はじめに

一般社団法人 北海道リージョナルリサーチは、2019 年 4 月に CPS 研究室を設置し、札幌市全域を対象として都市規模の地域ソーシャル CPS(サイバー・フィジカル・システム)サービスの研究開発を開始した。本研究に先だって 2012 年から 2016 年度に北海道大学は、文部科学省の「未来社会実現のための ICT 基盤技術の研究開発(次世代 IT 基盤構築のための研究開発) 社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築」の支援を受けて、国立情報学研究所、九州大学、大阪大学と共同で「社会システム・サービス最適化のためのサイバーフィジカル IT 統合基盤の研究」を推進した。この研究において北海道大学は、札幌市のスマート除排雪をターゲットして行った実証実験研究を行い、さらに 2017 年から 2018 年の 2 年間札幌市からの支援を受けて研究を継続した。

本研究は、田中のこれらの研究成果を発展させる研究開発で、都市全域の気象や人流/交通流の変化を、多数の定点観測センサ群と移動体位置センサ群を用いて、準実時間でモニタリングし、その実時間分析と過去データ分析を総合して、都市規模社会サービスの効率運用に活かすことを目指す実証研究である。

都市規模の実時間モニタリングでは、使用する膨大な数のセンサの低価格化と、これらのセンサ群から得られるデータを準実時間で安価に中央サーバに送信・収集可能な低価格の通信ネットワーク・サービスが必須である。本研究では、その基盤技術として、LPWA (Low Power Wide Area Network) の採用と、低価格で高いデータ圧縮機能を持った、定点観測センサノードの研究開発、歩行者だけでなく、自動車の移動追跡も可能な移動体位置センサノードの研究開発、さらには定点観測センサノードと組み合わせて用いる低コストの積雪定点観測センサの研究開発を 2019 年度より行い実証実験と評価を行ってきた。本研究は、主に科研費「探索的分析・学習シナリオ構築過程の基礎理論と支援環境フレームワークの実証研究」(田中譲代表)の助成を受けて行った。

LPWA には、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社 IoT ソリューション事業部(ソニー)が開発し、現在、サービスを全国に展開しつつある ELTRES システムを採用した。研究開始当時は札幌市にはサービス用のアンテナが未設置であったことから、2019 年度～2020 年度の実証実験では、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社から ELTRES 通信実験用受信機を借用して札幌市エレクトロニクスセンター屋上にアンテナを設置し、実証実験に使用する機器の開発と評価を行った。2020 年度の後半からは、札幌市及びその周辺をカバーするようにサービス用のアンテナの設置が進み、サービスも開始されたことから、商用サービス用 ELTRES チップを用いた小型版送信ノード端末を新たに試作開発し現在サービス用端末としての登録申請作業を行っている。

本報告では、2020 年度の研究開発の過程と開発したシステムおよび装置の評価およびその後の研究会初の発展と、今後の研究開発計画について述べる

2. 2020 年度年間計画

2020 度は、以下の 2 課題の研究開発を行った。

- (1) 昨年度開発した ELTRES 送信ノード端末を用いて、移動体の走行トラジェクトリの再現の高精度化を目指し、データ圧縮と解凍の手法を改善した。
- (2) すすきのに 1 台商用サービスアンテナが立ったことを受けて、ELTRES 商用サービス対応の送信ノード端末を開発した。開発は 2 期に分け、1 期では昨年度開発した ELTRES 送信ノード端末と同じ回路基板を用いて、ELTRES チップのみを商用サービス用チップに変更した。こちらで動作確認をし、小型版商用サービス対応汎用 ELTRES 送信ノード端末を開発した。

その後、商用サービスエリアは拡大し、札幌市全体がほぼカバーされるように拡大された。これにより、商用サービス対応 ELTRES 送信ノード端末を用いた展開がますます重要になってきた。

2020 年度の研究開発日程は以下の通りであった。

- ① 実験用 ELTRES 送信ノード端末を用いて、高速移動体のトラジェクトリの高精度再現を可能にするデータ圧縮・解凍手法の改善に関する研究開発（～9 月）
- ② 商用サービス対応の送信ノード端末の仕様打合せ（北海道電子機器株式会社と）（10 月 13 日）
- ③ 商用サービス対応 ELTRES 送信ノード端末の登録に関する打ち合わせ（ソニーネットワークコミュニケーションズと）（11 月 10 日）
- ④ ソニーから商用サービス対応 ELTRES チップ 10 個を受領（11 月 10 日）
- ⑤ 小型版商用サービス対応汎用 ELTRES 送信ノード端末の仕様決定（北海道電子機器株式会社に製造委託）（12 月 18 日）
 - ・制御用プロセッサも小型機（PIC18F46K40-I/SS）に変更
 - ・基板サイズは GPS アンテナ以外片面配置で 60x40mm
- ⑥ 小型版商用サービス対応汎用 ELTRES 送信ノード端末の完成（2021 年 1 月 26 日）

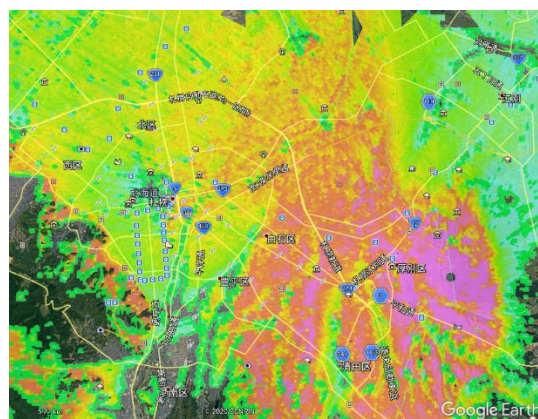
3. 実験用送信ノード端末のデータ圧縮法の改良

3.1 ELTRES 通信実験環境

2019 年 10 月 21 日に札幌市エレクトロニクスセンター屋上に設置した ELTRES 通信実験用アンテナおよび受信機（P o C キット）を継続して利用した。札幌エレクトロニクスセンターの所在地は、札幌市厚別区下野幌テクノパーク 1 丁目 1-10 で、札幌駅からおおよそ直線で 13km ほど東南東に位置する。電波の受信距離としては遠くないが、高度差が 35m 程度で、札幌駅付近では、ビルに囲まれるため受信レベルは、建物を考慮しない電界強度予測よりも低い値になる。



エレクトロニクスセンター屋上から札幌駅方向



アンテナ位置における電界強度予測

3.2 実験用 ELTRES 送信ノード端末（2019 年度開発）

2019 年度に、ソニーから 6 台の開発キットを借り受け、これらを用いてプロトタイプの移動体用と積雪計用の送信機を開発した。使用している ELTRES チップはいずれも実験用 ELTRES チップであり、商用サービスの下では使用できない。



積雪計用 ELTRES 送信ノード端末



移動体用 ELTRES 送信ノード端末

積雪計用 ELTRES 送信ノード端末は、開発キットにマイクロコンピュータおよびレーザ距離センサ、温度計センサを組み合わせた積雪計である。開発キット上の ELTRES チップとマイクロコンピュータは、115200bps のシリアル通信でデータ授受を行っている。マイクロコンピュータは、20MHz のクロックで動作させ、各センサとの間は、I2C 通信を用い、また外部とシリアルで内部状態を見ることができるよう

になっている。

移動体用 ELTRES 送信ノード端末も主たる部分の回路構成は積雪計用 ELTRES 送信ノード端末と同じである。送信データが 128bit/3min と限定された中で、移動軌跡が取得できるように複数の位置情報を送る必要があることから、データ圧縮に工夫を行っている。

これらの試作機の開発とデータ取得実験の後、ソニーから ELTRES チップを 20 個を借用し、はじめに第 1 世代を 8 台、次に改良型の第 2 世代を 10 台と、2 回に分けて試作送信ノード端末を 2019 年度に開発した。右下図の積雪計は 2018 年度に開発した反射型フォトインタラプタを用いた積雪センサで、図はこれと第 2 世代送信ノード端末とを結合した状態を示している。第 2 世代では、定点観測用送信ノード端末と移動体の軌跡取得用送信ノード端末を区別することなく、スイッチを用いたモードの切り替えで両方のいずれの用途にも利用できるようにした。



第 1 世代送信ノード端末



第 2 世代送信ノード端末と積雪計

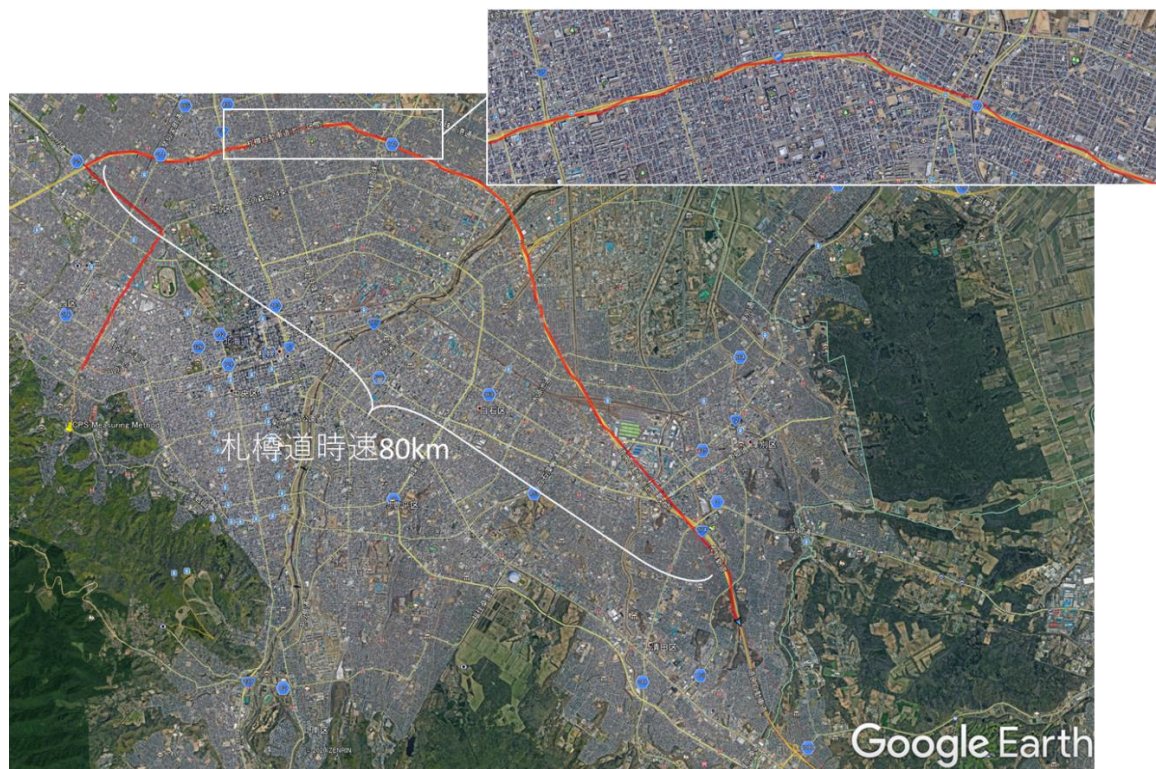
3.3 移動体軌跡用送信ノード端末ソフトウェアの改良

ELTRES には 3 分毎通信モードと 1 分毎通信モードがあるが、いずれの場合も一度に送れるデータ量は 128 ビットと極めて限定されている。このため、老人や子供の見守りへの応用など、送信タイミング毎に GPS から得られる位置情報を 1 個、128 ビットに詰め込んで送信することで、3 分毎ないしは 1 分毎に位置を送信するような応用は提案されていたものの、高速で移動する車やヘリコプターなどの移動体の移動軌跡(トラジェクトリ)のデータを 3 分毎ないしは 1 分ごとに更新して送信するような応用への適用は不可能と考えられてきた。1 分ごとの送信の場合、トラジェクトリを再現するためには、時速 60km で移動している場合を考えると、1 分間に 1km 移動する。この 1km をどのような経路で移動したかの軌跡を見るためには、この 1km の範囲に少なくとも 10 点以上のサンプルが必要である。10 点のサンプルとすると、サンプリングの間に最大 100m 移動することになり、軌跡の分解能もこれに準じる。

CPS 研究室では、この問題に関して、大きく分けて 3 種類のデータ圧縮モードを開発し問題を解決した。これら 3 種類の手法は、1 分ごとの送信モードを用いた場合、高速道路上の車や飛行中のヘリコプターの時速 80km 以上での移動、街中を走る車での時速 30km~80km での移動、歩行者や作業車での時速 30km 以下の移動の軌跡取得に適している。時速 30km 以下の移動の軌跡取得に適した手法を 1 分ごとの送信モードで用いた場合、2 秒ごとに位置をサンプリングした軌跡を得ることができ、例えば除排雪作業車の微かな動きまで再現する機能を持っている。

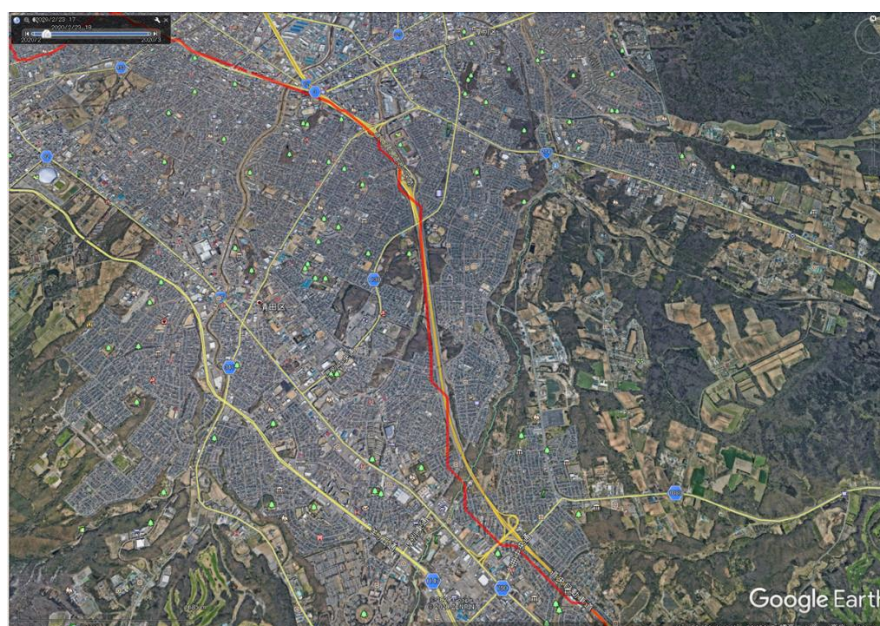
下図は時速 80km 以上での移動に適した新圧縮手法を 3 分毎送信モードで用いて、高速道路走行車両のトラジェクトリを再現したものである。カーブでの走行を滑らかに再現できるか否かを見るために、

カーブ走行の拡大図も付加している．1分毎送信に比べ，サンプリングの時間間隔は3倍になるが，下図を見る限り，走行軌跡は滑らかに再現できている．



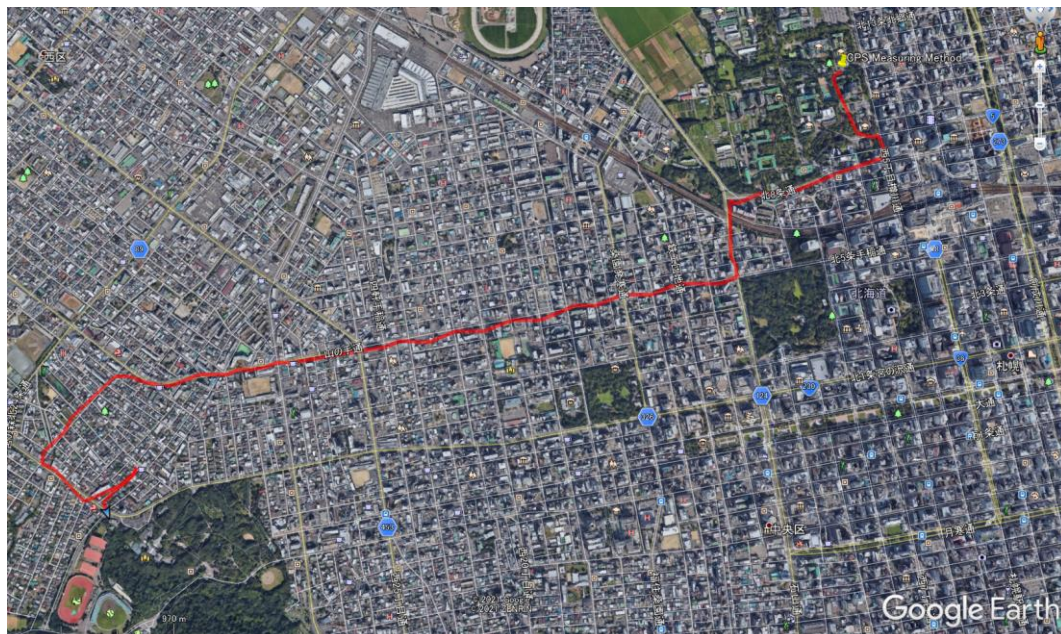
高速道路上の時速 80km での走行のトラジェクトリの再現（3分毎送信モード／圧縮手法1使用）

同じルートのトラジェクトリを 2019 年度に開発した改良前のデータ圧縮手法を用いて取得し再現したのが下図である．トラジェクトリが高速道路から大きくはみ出していることが分かる．



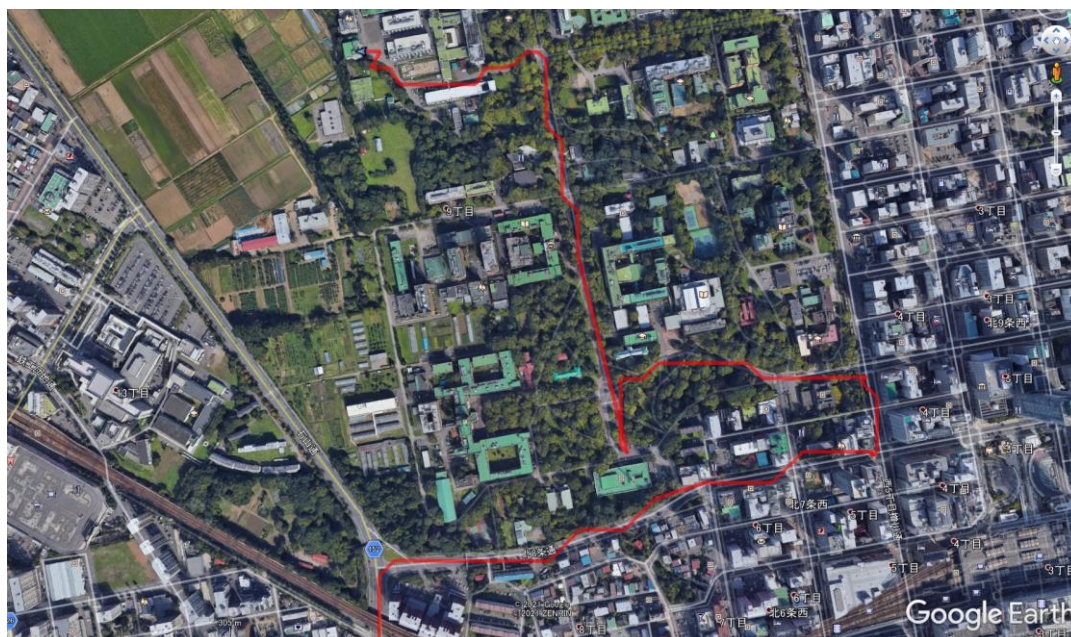
高速道路上の時速 80km での走行のトラジェクトリの再現（3分毎送信モード／旧圧縮手法使用）

下図は、街中での時速 30km～70km での走行の軌跡を、2 つ目の圧縮手法を用いて、3 分ごとの送信モードを用いて取得した結果である。右左折でトラジェクトリがコーナを通過せずに跳んでしまっているところはいくつかあるが、地図情報を用いた補正を行わなくても、トラジェクトリをこれだけ精度よく取ることができている。補正を行えば、右左折時のコーナでの跳躍は回避できる。



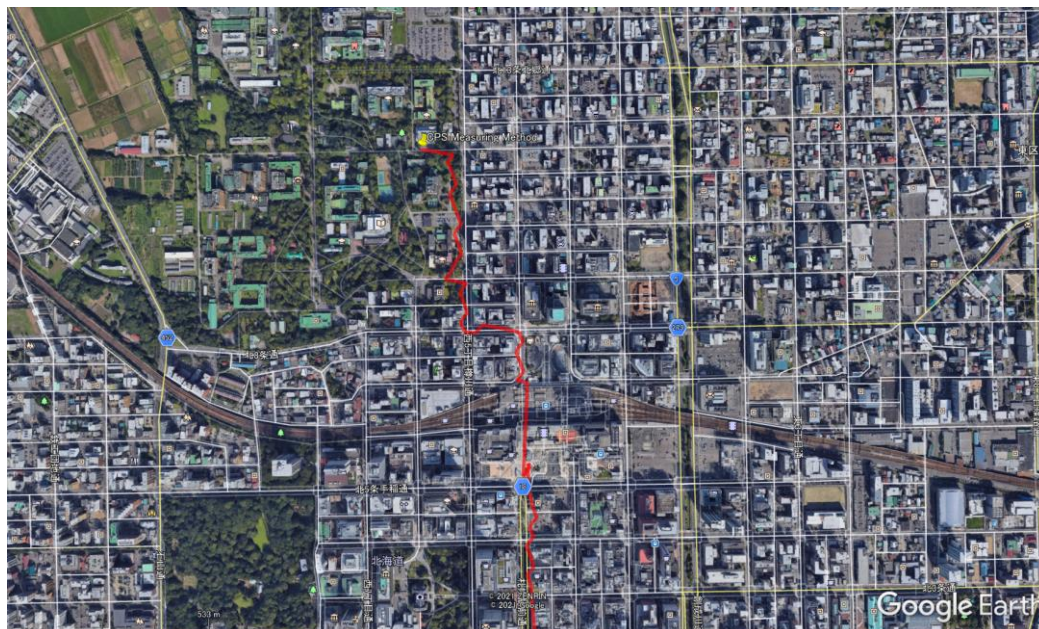
街中での時速 30km～70km での走行のトラジェクトリの再現（3 分毎送信モード／圧縮手法 2 使用）

下図は、1 分毎送信モードを用いた場合の街中での走行車のトラジェクトリの再現を表しており、上図に比べると一層高精度の再現となっており、右左折時のコーナの跳び越しもほぼ解消できている。



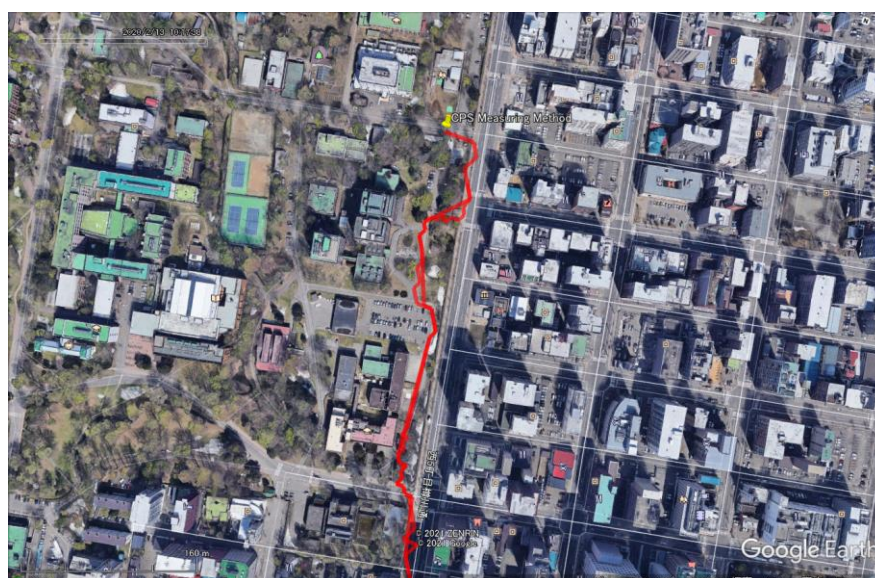
街中での時速 30km～70km での走行のトラジェクトリの再現（1 分毎送信モード／圧縮手法 2 使用）

下図は、歩行者のトラジェクトリを3つ目のデータ圧縮手法で取得したものである。この結果も3分毎送信モードを用いている。歩行者が北海道大学の正門から入って、堀際の遊歩道を北上したことがよくわかる。JRの高架下の移動も軌跡が追えている。3分毎送信モードでも補正無しで奇跡の細かな動きを再現できている。



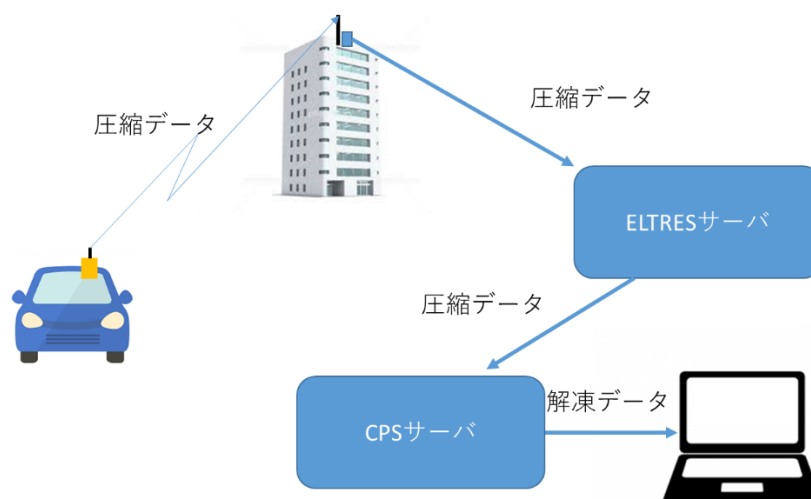
歩行者のトラジェクトリの再現（3分毎送信モード／圧縮手法3使用）

下図は、同じく3分毎送信モードで歩行者のトラジェクトリを再現したもので、北大正門から構内に入り、北上し、積雪を避けるために一度校外に出て車道に沿った歩道を歩いた後、再び構内に入って目的地に向かった様子が良く再現できている。



歩行者のトラジェクトリの再現（3分毎送信モード／圧縮手法3使用）

本報告書では、技術内容の保護のために、これらのデータ圧縮技術の詳細は明らかにできないが、これらのモードは手動で切り替えるか、速度変化に応じて自動で切替えることが可能である。ソニーの提供する ELTRES サーバからは、各ノード端末が送信した、データ圧縮した 128 ビットデータが送られてくるので、これをこちらが用意したクラウド・サーバで受け、クラウド内でデータの解凍を行って、サンプル数個の位置データに展開した後、アプリケーションに送ればよい。ELTRES の商用サービスに移行した後は、ELTRES サーバから送られてくる圧縮データを受けて解凍し、アプリケーションに送信する機能までをクラウド・サーバを独自に立ち上げてユーザーに提供することになる。

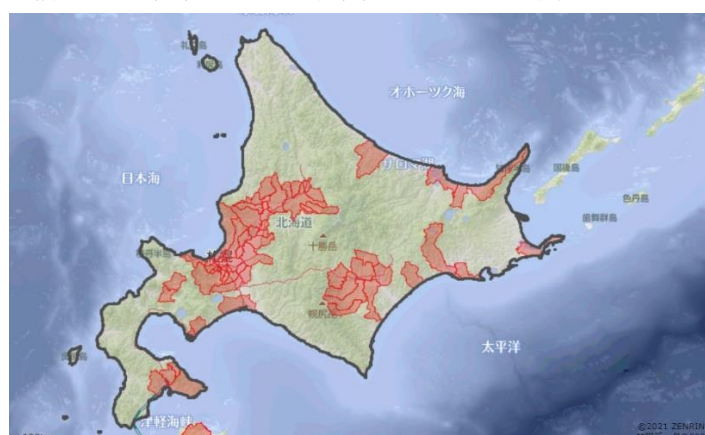


ELTRES サーバとアプリケーション対応独自サーバ

4. 商用 ELTRES サービス対応小型送信ノード端末の開発

4.1 商用 ELTRES サービスの開始とエリア拡大

2020 年度に入って、すすきのに 1 台商用サービスアンテナが立ったが、その後、商用サービスエリアは拡大し、2021 年 3 月 3 日の時点では下図の領域がカバーされるように拡大された。これにより、商用サービス対応 ELTRES 送信ノード端末を用いた展開がますます重要になってきた。



道内の商用 ELTRES サービスエリア (2021 年 3 月 3 日時点)

これを受けて、2020 年度には商用サービス対応送信ノード端末を 2 期に分けて開発を行った。1 期では昨年度と同じ回路基板を用いて、ELTRES チップのみを商用サービス用チップに変更した。こちらで

動作確認をしたのち、小型版商用サービス対応汎用 ELTRES 送信ノード端末を開発した。

4.2 商用 ELTRES 送信ノード端末の試作と小型化

昨年度と同じ回路基板を用いて、ELTRES チップのみを商用サービス用チップに変更し、商用 ELTRES 送信ノード端末のプロトタイプ試作を行い、動作確認を行った。下図に開発した基板を示す。



実験用 ELTRES 送信ノード端末基板を用いて ELTRES チップのみを商用サービス対応に変更

さらに制御用 CPU を小型機種に変更し、回路の整理を行って小型化を行い、下図のような商用 ELTRES サービス対応小型汎用ノード端末を開発した。左側の小型筐体内に回路と GPS アンテナ、単 3 電池 2 本のバッテリーボックスが全て格納される。これに送信用小型アンテナが外付けになる。



開発した商用 ELTRES サービス対応小型汎用ノード端末

5. これまでの開発の流れと 2021 年度の計画

今後の課題は、ELTRES サービスへの登録申請と、製品化を目指した普及活動になる。普及においてはキラー・アプリケーション・シナリオをいくつか提案する必要がある。送信ノード端末が小型・軽量であること、通信コストが安いこと、歩行者から高速走行までの広い移動速度に対応して高精度にトラジェクトリを再現できることなどと、山間部や海上のような携帯電話のサービスエリア外でも、ELTRES サービス内であれば送信が可能であるなどの特徴を活かしたユース・シナリオの提案が必要である。

さらには、移動体に限らず、応用に即してデータ圧縮技術を開発することにより、複数センサによるモニタリングを統合してデータ圧縮によりこれらのモニター値をまとめて送信する応用も考えられ、各センサと ELTRES 送信ノード端末の間の通信には P2P 通信を用いることも考えられる。すでにこのような応用に向けた研究開発も行っている。

以下に、本報告で紹介した 2020 年度までに完了した研究開発と作業の内容をまとめると共に、その後の展開として現在進行中の研究開発内容、更には今後の研究開発予定を以下に記す。

終了した研究開発と作業の内容

- ① ELTRES 試験用アンテナの設置
- ② 積雪計用 ELTRES 送信ノード端末の開発と試験
- ③ 移動体用 ELTRES 送信ノード端末の開発と試験
- ④ 18 点から 12 点の位置情報を送るデータ圧縮方法の開発
- ⑤ 低速時に 30 点の位置情報を送るデータ圧縮方法の開発
- ⑥ 商用システムに対応した送信ノード端末の開発
- ⑦ 商用システムに対応した小型送信ノード端末の開発

現在進行中の研究開発と作業の内容

- ⑧ 小型送信ノード端末の商用システム登録と運用
- ⑨ 移動体のトラジェクトリ取得において、サンプリング時間間隔と、圧縮データ表現に要するビット数 (128bit 以下)、各サンプリング点の圧縮前 GPS 座標と解凍後座標との差である誤差の最大値、さらには対応可能な最大移動時速の 4 つのデザインパラメータの種々の値の組み合わせを可能にする新しい圧縮手法を提案し、徒歩移動、除排雪作業車 (トラジェクトリから作業モードも識別)、ごみ収集車、街中走行、宅配車、路線バス、高速道路走行、ヘリコプター、ドローンなど、多様な対象に適用してカスタマイズした送信ノード端末の提供を目指す。

今後の研究開発課題

- ⑩ 製品化を目指したアプリケーションの展開
- ⑪ マルチセンサの統合送信のための圧縮技術の研究開発
- ⑫ 地域 BWA との連携による階層的モニタリングによる都市規模 CPS 基盤システムの研究開発