

多様な通信環境とセンサ情報を考慮した 時空間全方位映像収集配信システムの構築

伊藤健太^{†1} 平川剛^{†2} 柴田義孝^{†3}

我が国は地震や水害、土砂災害、風害等の災害が多く発生する国であり、災害時には広範囲でリアルタイムな映像による迅速な状況の把握や監視が必要である。加えて、災害発生時には迅速に情報通信ネットワーク構築が可能な無線ネットワークが有効であるが、中山間地域では通信接続が長時間不安定になったり、切断状態が続いたりする劣悪な状況が多く存在する。また、北日本では積雪も多く、それによる交通事故等も多く発生している。本稿では、今まで行われてきた先行研究を踏まえ、道路状況監視や被災地域の映像記録等を目的とした、映像とセンサ情報のライブストリーミング機能とデジタルアーカイブ機能を実装した全方位映像収集配信システムを提案する。

1. はじめに

近年、我が国では地震や水害、土砂災害、風害などの災害が多発している。災害発生時には、広範囲でリアルタイムな映像による迅速な状況の把握や監視が必要であるが、現在は単方位カメラによる限られた範囲の映像が監視等の主流となっている。最近では、位置情報取得技術の向上や、全方位カメラ技術の発達により、位置情報を考慮した広域監視の可能性が広がっている。加えて、災害発生時の情報通信ネットワークに関して、無線ネットワークが有線ネットワークよりもケーブルの敷設が不要である点、移動も可能である点、迅速に情報通信ネットワーク構築が可能であるという点で有効であるが、災害発生直後や中山間地域等では、不感帯地域が多く、モバイル通信環境やアドホックな通信環境では頻繁な通信の切断や遅延の発生、スループットが十分に確保できないなど、劣悪な通信環境が存在する。また、ITSの発達により近い将来多くの車が車載用カメラを搭載することが予想される。そして、車両による移動性と、通信のリアルタイム環境とノンリアルタイム環境を考慮した、車載移動無線ネットワークと全方位映像による被災地や道路、積雪、河川等の監視が実現可能となった。

これらの先行研究として、全方位カメラと車載センサを用いた被災地情報提供システム[1]が行われてきた。その問題点として、移動しながら映像転送する際に低フレームレートのため表示できない撮影範囲が生じてしまう点や、劣悪な通信環境を考慮したデータ通信に対応していない点、などがあつた。その問題点を改善するために、道路情報リアルタイム配信システム[2]や、劣悪な通信環境を考慮したDelay Tolerant Networking(DTN)プロトコル[8]を用いたビデオフレーム転送システムの研究[3]が行われてきた。また、これらの研究を引き継いだ、劣悪な通信環境等を考慮した時空間映像配信システムの構築が行われた[4]。この研究では、平常時の環境を考慮したリアルタイムモードと、非常時や劣悪な通信環境を考慮したノンリアルタイムモードを構築してきた。しかし、問題点として、リアルタイムモードとノンリアルタイムモードがそれぞれ独立したシステムとして動作している点、ノンリアルタイムモードでは映像を扱っていない点、取り扱っているセンサ情報が少ない点、車載システムのリソースや電源管理の問題、などがある。

そこで本稿では SODiCS (Spatial and Temporal Omnidirectional Video Distribution and Collection System) を提案する。SODiCS では今まで行われてきた先行研究[5][6][7]を踏まえ、それらの問題点を改善し、映像とセンサ情報のライブストリーミング機能とデジタルアーカイブ機能を実装した、道路状況監視や被災地域の映像記録等を実現する。

2. システム概要

SODiCS の概要を図 1 に示す。全方位カメラとセンサノード、車載サーバを搭載した車両と、Web アプリケーションを運用する情報サーバにより構成される。本システムでは、全方位カメラとセンサノード、車載サーバを搭載した車両を複数台運行し、走行中の映像や温度、湿度、位置情報、積雪、路面温度などのセンサ情報を収集する。これらの情報は無線ネットワークを介して情報サーバへ送信され、WebGIS と組み合わせて Web アプリケーションとして提供される。



図 1 SODiCS 概要

本システムでは、平常時や緊急時など多様な通信環境に対応するために、映像配信機能としてライブビュー(LV)モードとストレージビュー(SV)モードを提供する。

LV モードでは、通信速度の優劣に関わらず 3G や LTE, WiMAX など通信が常に接続されているような環境での使用を想定する。LV モードの機能として、走行地点周辺のライブ中継や監視カメラの役割、多少の低画質や途絶は気にせずリアルタイム性を求めることがある。LV モードでは車

†1 岩手県立大学大学院
†2 株式会社ネットワーク応用技術研究所
†3 岩手県立大学

載サーバシステムで取得した映像をリアルタイムに情報サーバシステムへ送信する。被災地の復興状況や降雨、積雪時等の道路状況、交通状況、観光地の様子の監視などに用いる。車載サーバシステムで取得した映像はインターネット上でリアルタイムに配信され、ユーザは Web ブラウザに埋め込まれたビデオプレイヤーや UStream を介して車載サーバシステムで取得された映像を閲覧できる。加えて、車載サーバシステムで取得されたセンサ情報はリアルタイムに WebGIS にマッピングされ、ユーザは走行地点の映像と併せて、位置情報やセンサ情報を確認できる。また、車載システムから取得する映像は走行地点周囲の環状映像であるため、ユーザが指定した位置でパノラマ展開できる機能を提供する。LV モードの利用シナリオの一つとして、図 2 に示すように、自宅から大学までの渋滞や積雪、路面凍結などの道路状況をすぐ確認したいときが考えられる。



図 2 LV モード利用シナリオ

一方、SV モードでは、不安定な接続が長時間続いたり、切断状態が続いたりするような劣悪な通信環境での使用を想定する。SV モードの機能として、映像のデジタルアーカイブがある。中山間地域の状況や災害等により通信が不能となった場合に被災地の状況の記録などに用いる。車載サーバシステムと情報サーバシステム間の通信には DTN プロトコルを用いる。車載サーバシステムは取得した全方位映像とセンサ情報を一旦車載サーバシステムのストレージに蓄積する。通信が接続されているときは、車載サーバシステムに蓄積されているデータを情報サーバシステムに送信する。通信ができないときは、そのまま車載サーバシステムのストレージに蓄積し続ける。通信が可能になった時にデータ送信を再開する。ユーザには全方位展開された映像と WebGIS にセンサ情報をマッピングしたものを提供する。SV モードの利用シナリオのひとつとして、図 3 に示すように、災害発生直後の状況の移り変わりを把握したいときが考えられる。



図 3 SV モード利用シナリオ

3. システムアーキテクチャ

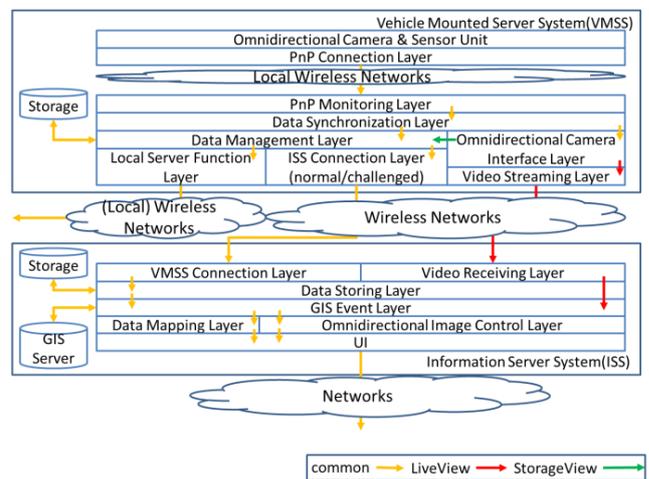


図 4 システムアーキテクチャ

本システムのアーキテクチャを図 4 に示す。PnP Connection Layer と PnP Monitoring Layer ではセンサノードと車載サーバ間の通信を管理する。Data Synchronization Layer はデータの同期を管理する。Data Management Layer は車載ストレージへのデータの蓄積や、送信するデータの管理を行う。Local Server Function Layer は情報サーバシステムで提供される機能を車載サーバから提供する際の管理、制御を行う。ISS Connection Layer と VMSS Connection Layer では車載サーバシステムと情報サーバシステム間の通信を管理し、平常時と劣悪環境時の通信を考慮する。Omnidirectional Camera Interface Layer は全方位カメラとの接続、通信を管理する。Video Streaming Layer と Video Receiving Layer では全方位映像のリアルタイム通信を管理する。Data Storing Layer は情報サーバストレージへのデータの蓄積を管理する。GIS Event Layer は WebGIS を使用した機能の管理をする。Data Mapping Layer は取得されたセンサデータ等のマッピングを管理する。Omnidirectional

Image Control Layer は全方位動画像のパノラマ展開等を管理する。UI はユーザが直感的に使いやすいインタフェースを提供する。

4. 全方位展開処理

全方位カメラと全方位展開処理を図5に示す。ネットワークカメラに全方位レンズである PALNON レンズを装着しイーサネット経由で環状映像を取得する。環状映像はそのままでは視覚的に理解しにくいので、全方位展開処理をした全方位映像として出力する。

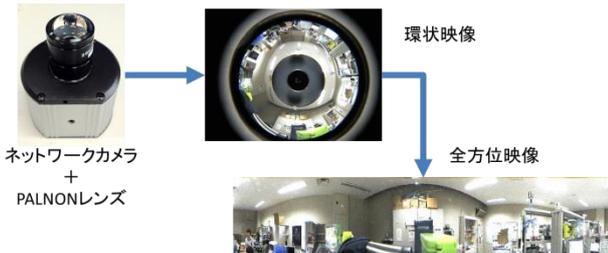


図 5 全方位展開処理

5. Delay Tolerant Networking(DTN) プロトコル

本システムの SV モードの車載サーバシステムと情報サーバシステム間の情報通信には、DTN プロトコルを利用する。このプロトコルは、図6に示すように、OSI 参照モデルのトランスポート層の上にバンドル層と吸収層と呼ばれる新たなプロトコルを実装したオーバーレイネットワーク構成となっている。

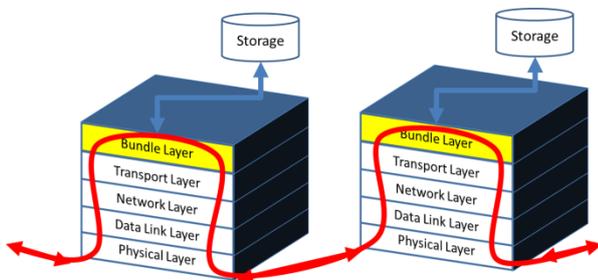


図 6 DTN プロトコルの
オーバーレイネットワーク構成

バンドル層は、OSI 参照モデルのトランスポート層の上に挿入され、ストレージを保持し、バンドルの蓄積型転送を可能とする。蓄積型転送では、転送されてきたバンドルをストレージに一旦蓄積して、次の中継ノードと接触して、転送のための通信リンクが利用可能になるまで待機する。吸収層はバンドル層の下方に挿入され、さまざまなトランスポート層や直接にデータリンク層を使う場合も想定し、それらの違いを吸収して共通のインタフェースを定義するために設けられている。

DTN は連続的なエンドツーエンドの接続を想定することができない環境に相互運用可能な通信を提供するアプロ

ーチである。現在の TCP プロトコルは、ネットワーク通信を確立するためにエンドツーエンドの接続を必要とするが、DTN は異種ネットワークや惑星間、軍事、災害ネットワークのようなエンドツーエンドの通信が利用できない環境でも、エンドツーエンドの通信を使用できるように設計されている。

劣悪なネットワーク環境下で相互運用可能な通信を実現するために、DTN は一般にストアアンドフォワード型のルーティングを行う。各ノードは、利用可能なノードが近くに存在しない場合、送信データが格納され、利用可能なノードが近づくと、そのノードにデータをコピーする。

図7に示すように、使用可能なノードが近隣にない場合、ノード N1 はデータ D1 を保持する。N1 がノード N2 に近づくと、D1 は N2 にコピーされる。データが目的のノードに到達するまで D1 は同じ方法で他のノードに伝送される。

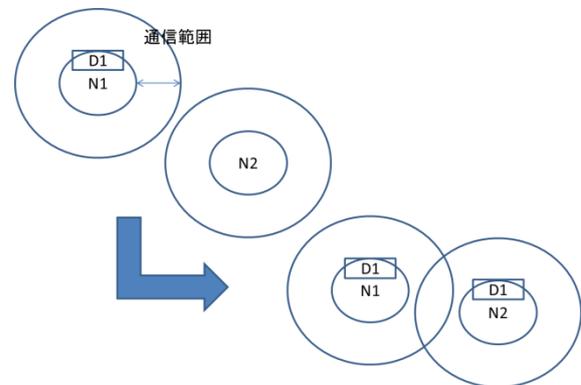


図 7 ノードの動き

本システムでは、図8に示すように、車載サーバシステムが無線基地局や無線アクセスポイントの通信範囲外にある場合にはデータ収集のみを行い、通信範囲内に入り通信が可能になった際に DTN を用いて車載サーバシステムと情報サーバシステム間の通信を確立し、データ送信を行う。

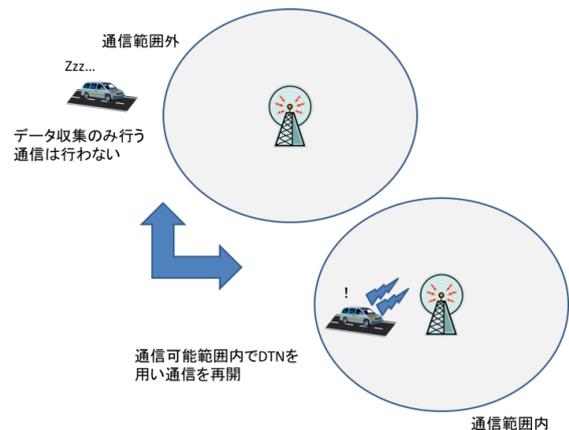


図 8 通信の切り替え例

また、災害発生等の緊急時には、帯域等通信のリソースが制限されてしまうことや、様々な状況によって求められる情報は異なることが考えられる。そこで、通信リソースを考慮し、災害発生時等の状況毎に提供するデータに優先

度を付加し、DTN プロトコルを用いて通信を行う際にその優先度に従ってデータを送信する、ということを経験中である。例えば、災害発生時において、災害発生箇所の状況の迅速な把握が求められると思う。その際必要となってくる情報は、映像や位置情報であり、温度や湿度などは災害時には重要視されないと考える。このように状況に応じてデータに優先度を振り分け、優先度の高いものからユーザに提供することを考えていきたい。

6. プロトタイプシステム構成

本システムのプロトタイプシステム構成を図 9 に示す。車載サーバシステムはセンサノードとカメラノード、センサデバイス、全方位カメラ、車載サーバ PC で構成され、情報サーバシステムは情報サーバ PC で構成される。

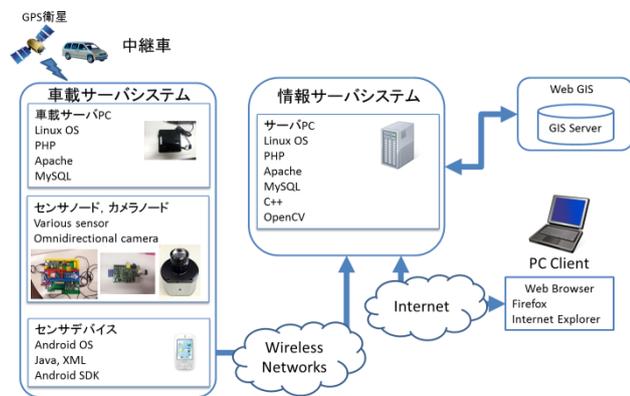


図 9 プロトタイプシステム構成

センサノードのプロトタイプ構成を図 10 に、カメラノードのプロトタイプシステムを図 11 にそれぞれ示す。センサノードには現在、加速度センサと角速度センサ、温度センサ、湿度センサ、GPS センサが接続されている。現在のプロトタイプ構成に加え、積雪量を測定するセンサや、路面温度を測定するセンサの接続も実現していきたい。

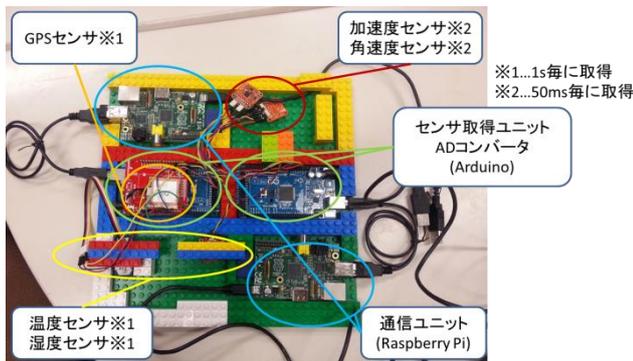


図 10 センサノードのプロトタイプ構成

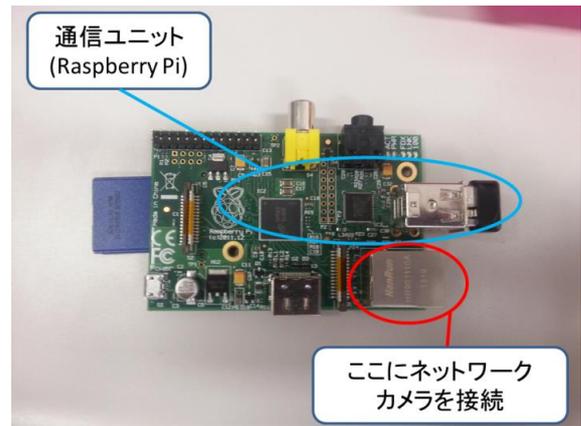


図 11 カメラノードのプロトタイプ構成

センサデバイスには、Android 端末を使用する。センサ情報の取得、情報を内部ストレージ(SQLite)に保存、車載サーバへデータを送信、といった機能を持つアプリケーションを実装する。開発言語として Java と XML、ライブラリとして Android SDK を使用する。センサデバイスに実装するアプリケーションのプロトタイプを図 11 に示す。左側の画面の Start ボタンを押すと、センサ情報の取得を開始する。今回の実装で取得している情報は、日時、緯度経度、方向、温度、湿度、位置情報のプロバイダ、である。これらの情報は、端末内の SQLite データベースに保存され、左側の画面の Display ボタンを押すと右の画面に遷移し、取得した情報の一覧を表示できる。また、取得された情報は IP アドレスとポートを指定することにより、文字列として情報サーバシステムに送信することが出来る。現在、日時、緯度経度、方向、位置情報のプロバイダの取得には成功しているが、使用している端末に温度センサと湿度センサが実装されていないため、この 2 つの情報に関しては、今後確認していく必要がある。

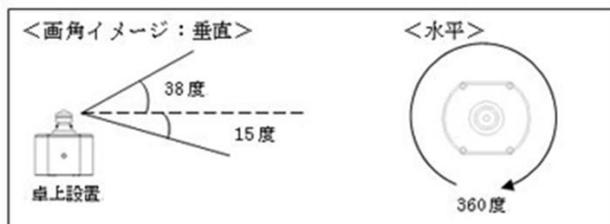


図 12 センサデバイスのプロトタイプアプリケーション

車載サーバシステムの全方位カメラには図 13 に示す、全方位カメラは、Arecont Vision 社製のネットワークカメラである AV5100 に全方位レンズである PALNON レンズを装着した状態のものを使用する。解像度はフルサイズで 2592*1944, その際のフレームレートが 9fps であり, Power over Ethernet 機能を用い Ethernet から電源供給と情報送信を行う。また, 図 14 に使用する PALNON レンズの画角と撮影範囲を示す。カメラの高さが高ければ高いほど車両に近い部分の撮影可能範囲が遠くなり, 近くを撮影することはできなくなるが, その分遠くまでの見通しが取れることも確認できたので, 用途に応じて高さを可変させることを検討する。例えば高さが低ければ道路状況監視, 高ければ被災地の状況の一望など, 様々なシナリオを想定していきたい。



図 13 全方位カメラ



カメラの高さ	撮影可能範囲(水平方向)
2.0m	約6.3m~
1.8m	約5.7m~
1.5m	約5.0m~

図 14 PALNON レンズの画角と撮影範囲

車載サーバ PC の OS は Ubuntu 12.04 LTS, CPU は Intel Core i3 3217U (1.8GHz), メモリは 8GB である。開発環境は, 言語として PHP, Web サーバとして Apache, DB には MySQL を使用し, 画像処理には C++ と OpenCV を使用する。

情報サーバ PC には, DELL のワークステーション, PRECISION T7400 を使用する。OS は Ubuntu 12.04 LTS, CPU は Intel Xeon X5482(3.2GHz), メモリは 8GB である。開発環境は車載サーバ PC と同様に, 言語として PHP, Web サーバとして Apache, DB には MySQL を使用し, 画像処

理には C++ と OpenCV を使用する。

本システムの車載プロトタイプシステムを図 15 に示す。はじめに, 車載サーバ PC を起動すると, 同時に車載サーバ自身が無線 AP となる。次に, 車載サーバ PC とセンサ, カメラノード間の接続を, Plug and Play 機能により自動で確立する。接続が確立されたら, センサ, カメラノードはデータを車載サーバが AP となった無線 NW を使用して車載サーバに送信する。そして, 車載サーバ内に Web アプリケーションが実装されており, 車載サーバが AP となった無線 NW やモバイル Wi-Fi 等を利用した無線 NW を介して車載サーバから直接 Web アプリケーションを提供することを可能とする。また, モバイル Wi-Fi 等を利用した無線 NW を介してセンサデータを情報サーバシステムに送信する。これにより, 情報サーバシステムからネットワークを介して多くの人にアプリケーションを提供することと, 緊急時などに車載サーバから直接アプリケーションをローカルに提供することを可能とする。センサノードと車載サーバ PC 間の通信の確立に使用している Plug and Play(PnP) 機能は, 何かのトリガをきっかけにユーザが操作することなく特定の動作を行うということである。

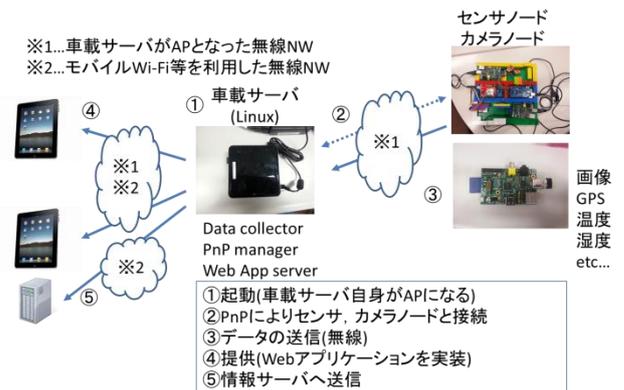


図 15 車載プロトタイプ構成

また, 車載サーバシステム運用時の電源リソースの制限を考慮し, 車載サーバシステムの稼働の無駄や無線アクセスポイントの稼働の無駄をなくすために, Radio on Demand (RoD) 機能を使用する[14]。

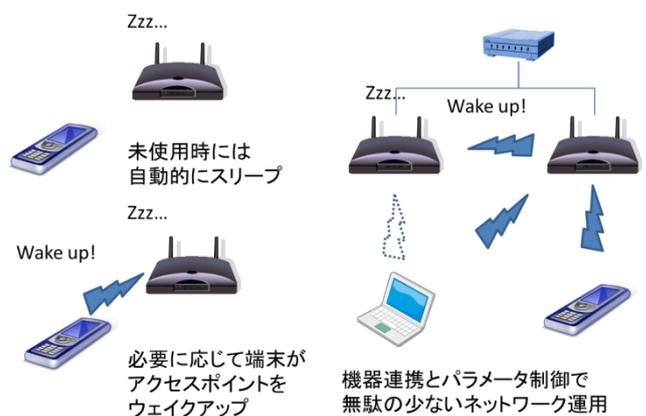


図 16 Radio on Demand 概要

RoD 機能の概要は図 16 に示すように、各アクセスポイントは、端末が接続されていない状態であれば自動的にスリープになり、そのアクセスポイントに端末が接続したい時に、必要に応じて端末がアクセスポイントをウェイクアップする。このように機器連携とパラメータ制御により、無駄の少ないネットワーク運用を実現する。

7. まとめと今後の課題

本稿では SODiCS の提案を行った。多様な通信環境とセンサ情報を考慮し、リアルタイムストリーミングとデジタルアーカイブを両立した、全方位映像と複数センサ情報を組み合わせた道路状況監視システムを構築する。

今後は、以下の項目について取り組んでいく。

第一に、車載サーバシステムと情報サーバシステムにおける全方位展開の方法の検討と実装である。先行研究では全て Windows 環境での全方位展開処理が行われてきたが、本システムでは Linux ベースで実装を進めていくので、先行研究での実装を参考にしつつ、Linux 上での全方位展開処理を実現していきたい。

第二に、5 章で述べた優先度を考慮した DTN プロトコルの検討と、それを使用した車載サーバシステムと情報サーバシステム間の通信の実装である。先行研究では、DTN ソフトウェアとして DTN2 を使用し、他にも IBR-DTN や Postellation などの DTN ソフトウェアを調査してきた [9][10][11][12][13]。本システムは Linux ベースで構築するので、Linux と相性の良い、かつカスタマイズしやすい DTN ソフトウェアを調査していきたい。その上で優先度を考慮した実装を行っていきたい。

第三に、ひと通りの実装が終わり次第、フィールド実験を行っていくことである。一般道や山道、高速道路、被災地など、様々な環境下でのフィールド実験を検討している。

参考文献

- [1]. 齊藤慶太, 柴田義孝, 橋本浩二, “全方位カメラと車載センサを用いた被災地情報収集提供システム” 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2011 年_通信(2), 640, 2011-02-28
- [2]. 勝田匡平, 柴田義孝, 橋本浩二, “全方位カメラと車載センサを用いた道路情報リアルタイム配信システム”, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, 3 号 pp3527-3528(2012)
- [3]. 石井雄也, 柴田義孝, “劣悪な通信環境における Delay Tolerant Networking プロトコルを用いたビデオフレーム転送システムの構築”, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, 3 号 pp3117-3118(2012)
- [4]. 伊藤健太, 津田一真, 柴田義孝, 橋本浩二, “劣悪な通信環境等を考慮した時空間映像配信システムの構築”, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集

- [5]. 橋本浩二, 柴田義孝: 利用者環境を考慮した相互通信のためのミドルウェア, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.2, pp403-417, (2005)
- [6]. 米田裕也, 橋本浩二, 柴田義孝: 高解像度全方位映像の利用と通信のためのミドルウェアの開発, 情報処理学会第 68 回全国大会, pp581-582(2006)
- [7]. 大葛広和, 佐藤洋介, 米田裕也, 橋本浩二, 柴田義孝: “Gigabit Ethernet カメラを利用した超高精細全方位映像システム”, 情報処理学会第 71 回全国大会 pp283-284
- [8]. Delay Tolerant Networking Research Group: <http://www.dtnrg.org/wiki/>
- [9]. Code - Delay Tolerant Networking Research Group <http://www.dtnrg.org/wiki/Code>
- [10]. IBR-DTN <http://trac.ibr.cs.tu-bs.de/project-cm-2012-ibrdsn>
- [11]. Postellation: a Lean and Deployable DTN Implementation <http://postellation.viagenie.ca/index.html>
- [12]. Hervé Ntareme, Sebastian Domancich “Security and performance aspects of Bytewalla: A Delay Tolerant Network on smartphones”, First International Workshop on Wireless Communication and Networking Technologies for Rural Enrichment
- [13]. Sergio Cabrero, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Thomas Plagemann “Dynamic Temporal Scalability: video adaptation in sparse Mobile Ad-Hoc Networks”, 2012 IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)
- [14]. 無駄な消費電力量を削減する Radio On Demand Networks | ATR 適応研 <http://www.acr.atr.jp/research/rod/>