多様な通信環境を考慮した DTN ベースの時空間映像配信システム

伊藤健太[†1] 津田一真[†2] 柴田義孝[†2] 内田法彦[†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地域である．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と言われているが，中山間地域などでは，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存在する。そこで本稿では全方位カメラと車載センサを用い，通信速度に関わらず常にネットワークに接続されている環境で動作するライブビューモードと，Delay Tolerant Networking プロトコルを用い災害時等の接続が断続的な環境で動作するストレージビューモードを搭載し，多様な通信環境を考慮した時空間映像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，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と言われているが，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，劣悪な通信状況が存在する．また，車両による機動性と，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することにより，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されようとしている．

本研究室には，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]を開発してきたが，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，などという問題点があげられる．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[7]を用いたビデオフレーム転送システムの研究[3]が行われてきたが，利用する通信媒体の機能に応じたビデオフレームのレートや解像度、フレームレート選択の自由度を改良する必要がある．

そこで本稿では，これらの問題を解決するため，先行研究のシステムを機能的に統合し，多様な通信環境に対応した時空間映像配信システムを提案する．

2. 時空間映像配信システム概要

本研究のシステム概要は図 1 に示すように，全方位カメラと GPS デバイス，各種環境センサ，車載アプリケーション用 PC を搭載した車両と，WEB アプリケーションを運用

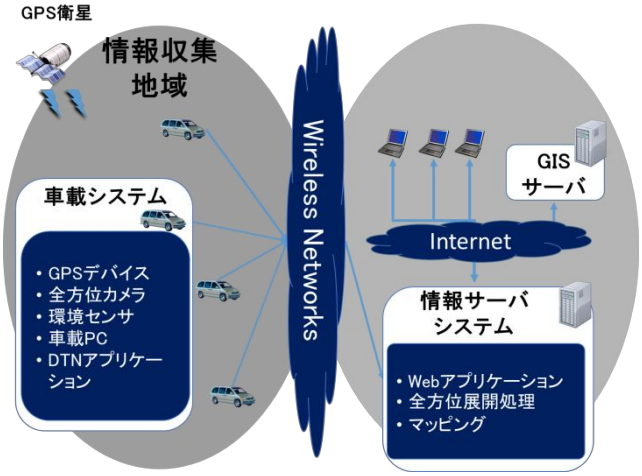


図 1 時空間映像配信システム概要図

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 GPS デバイス，環境センサ，車載アプリケーション用 PC を搭載した車両を複数台運行し，道路周辺の状況を撮影した映像と位置情報などのセンサ情報を取得する．取得した映像とセンサ情報は，3G モバイル網や衛星通信，無線 LAN，WiMAX 等の無線ネットワークを利用して情報サーバへ送られる．情報サーバでは取得した映像のパノラマ展開処理やクライアント PC へのマルチキャスト配信，WEB アプリケーションの提供などを行う．

†1 岩手県立大学大学院
Graduate School of Iwate Prefectural University
†2 岩手県立大学
Iwate Prefectural University
†3 埼玉工業大学
Saitama Institute of Technology

© 2013 Information Processing Society of Japan

3. 映像配信機能

本システムでは，多様な通信環境を考慮するために，映像配信機能としてライブビューモードとストレージビューモードを提供する．

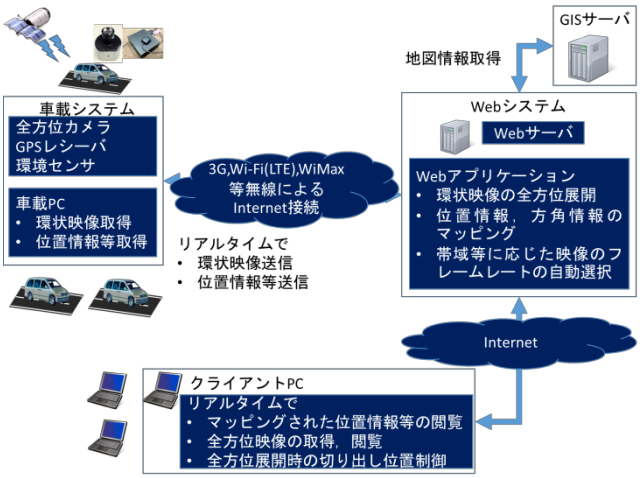


図 2 ライブビューモード概要図

ライブビューモードの概要を図 2 に示す．ライブビューモードは，通信速度の優劣に関わらず 3G や 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．ストレージビューモードに求められる機能として，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．車載システムで取得した映像をリアルタイムに情報サーバへ送信する．被災地の復興状況や大雨や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．車載システムで取得した映像は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 を介して車載システムで取得された映像を閲覧できる．加えて，車載システムで取得された位置情報はリアルタイムに WebGIS にマッピングされ，ユーザは映像と併せて，現在走行中の車両の位置を確認できる．また，車載システムから取得する映像は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．

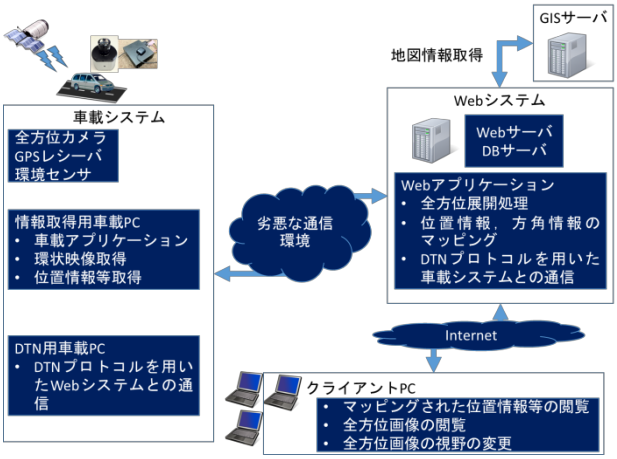


図 3 ストレージビューモード概要図

ストレージビューモードの概要を図 3 に示す．ストレージビューモードは，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．ストレージビューモードに求められる機能として，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基地局が機能しなくなった際に被災地の状況の監視などに用いる．車載システムと Web システム間の通信には DTN プロトコルを用いる．車載システムは取得した画像と位置情報などのセンサ情報を一旦車載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，車載システムに蓄積されているデータを Web 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ならば，データ送信を再開する．ユーザには全方位展開された画像と WebGIS に位置情報をマッピングしたものを提供する．

4. システムアーキテクチャ

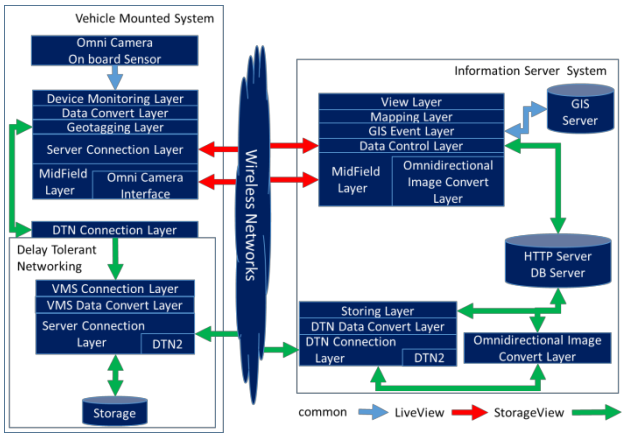


図 4 システムアーキテクチャ

本システムのアーキテクチャを図 4 に示す．車載システムは以下のレイヤで構成される．Device Monitoring Layer で GPS レシーバの接続と動作を監視する．Data Convert Layer で位置情報，センサ情報の取得および変換をする．Geotagging Layer で収集した各情報の同期処理をする．

ライブビューモード時には Server Connection Layer で情報サーバへの接続をする．MidField Layer で MidField System[4]を使用し映像処理や映像伝送をする．MidField System を用いることにより，通信端末の処理能力や利用可能なネットワーク帯域に応じ，適切なフォーマットによる映像通信を実現する．Omni Camera Interface Layer で全方位カメラから映像を取得する．

ストレージビューモード時には，DTN Connection Layer と VMS Connection Layer で映像とセンサ情報を取得した PC と DTN2 が搭載されている PC 間の通信を行う．Server Connection Layer は取得したデータをストレージに保存し，DTN2 を使用して Web システムとの通信を行う．ここで用いている DTN2 とは，DTN プロトコルを利用するためのソフトウェアである．

Web システムは以下のレイヤで構成される．リアルタイムモード時には Data Control Layer で車載システムから送信された各情報を取得する．Mapping Layer で情報を

© 2013 Information Processing Society of Japan

WebGIS 上へマッピングする．GIS Event Layer で WebGIS の操作イベントの取得処理をする．View Layer で閲覧用の Web ページを生成する．また，MidField Layer で MidField System を起動し車載システムから送られてくる映像を受信し出力する．Omnidirectional Image Convert Layer で取得した環状映像を全方位展開処理する．ストレージビューモード時には，DTN Connection Layer で DTN2 を使用して車載システムから送信されたデータを受信する．Storing Layer でセンサ情報を DB へ格納する．

5. 全方位展開処理

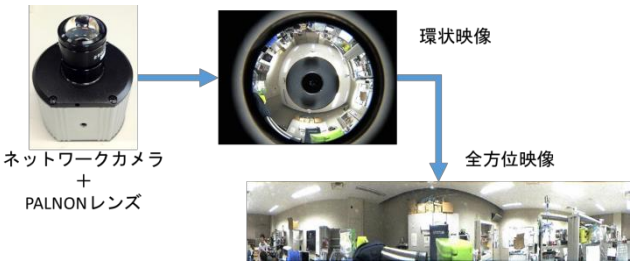


図 5 全方位展開処理

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ため，全方位展開処理[5][6]をした全方位映像として出力する．

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

本システムのストレージビューモードの車載システムと情報サーバシステム間の情報通信には，DTN プロトコルが利用される．このプロトコルは，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．

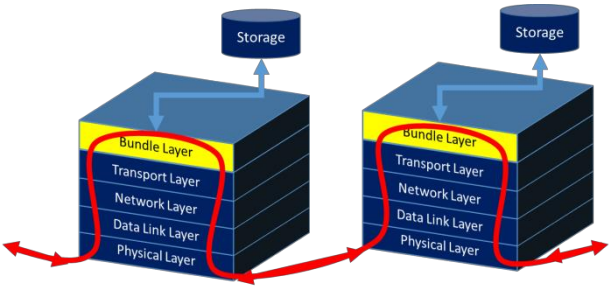


図 6 DTN のオーバーレイネットワーク構成

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あるいは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，それを使用できるように設計されている．

DTN はもともと地球と火星の間の通信のような惑星間インターネットとして設計されている．惑星間ネットワークの場合，惑星間のリンクは現在の TCP/ IP アーキテクチャより非常に面倒であると考えられている．無線データ伝送の極端な長い距離以外の重要な課題として，非常に大きな待ち時間や各接続上での双方向通信，連続的なエンドツーエンドの接続、中継探査機、低いデータレートなどによって接続が断続的であることがある．よって，惑星間ネットワークは相互運用可能な通信のために新たに設計されたネットワークプロトコルを必要としていた．

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 は一般にストアキャリー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．

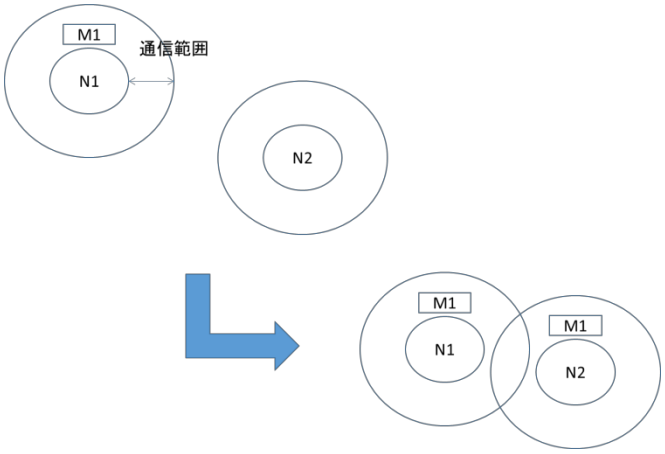


図 7 DTN におけるノードの動作

使用可能なノードが近隣にない場合，ノード N1 はメッセージデータ M1 を保持する．ノード N1 がノード N2 に近づくと，メッセージデータ M1 はノード N2 にコピーされる．データがゴールノードに到達するまでメッセージデータ M1 は、同じ方法で他のノードに伝播される．

7. Radio on Demand 機能/Plug and Play 機能

本システムの車載システムの電源供給は，本研究室で使用している移動中継車の発電機や普通乗用車のシガーソケットを AC 電源にすることができるコンバータを利用している．ライブビューモードの使用でもストレージビューモードの使用でも電源供給には制限がある．ライブビューモ

© 2013 Information Processing Society of Japan

ードの際は常に通信が接続されているが，ストレージビューモードの際は通信途絶環境にあるので，通信を接続できるアクセスポイントが見つかるまで常にコネクションを張り続けなければならない．その結果，通信が接続されていないのに通信が接続されている時と同じ振る舞いをしてしまい無駄に電力を消費してしまう．また，アクセスポイントに関しても，接続する端末がないのにも関わらずアクセスポイントを起動し続ければ無駄に電力を消費してしまう．

本システムにおいて以上のような電源の問題には取り組んでいかなければならないと考えている．そこで Radio on Demand 機能と Plug and Play 機能を導入する．

図 8 Radio on Demand 概要

Radio on Demand 機能はアクセスポイントの稼働の無駄をなくすために使用される．

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る．そのアクセスポイントに端末が接続したいとなった時に，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．

Plug and Play 機能は，車載システムの稼働の無駄をなくすために使用される．

Plug and Play は，つないだら(Plug)，ユーザがなにか特別な操作をしなくても実行(Play)される，PC に周辺機器や拡張カード等を接続した際にハードウェアとファームウェア，ドライバ, OS, 及びアプリケーション間が自動的に強調し，機器の組み込みと設定を自動的に行う, という意味である．

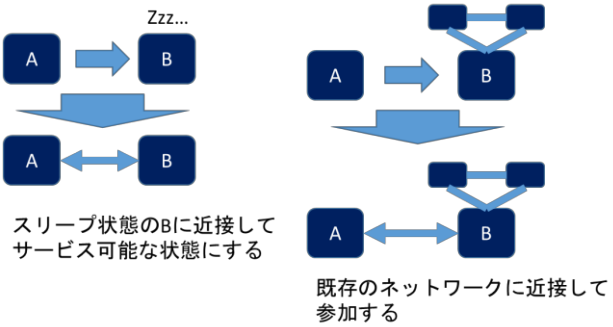


図 9 Plug and Play 機能の例

本システムでは, Plug トリガの例として, 前述の Wake on Demand 機能や，スリープ状態の端末や既存のネットワークへの近接を想定している．

8. プロトタイプシステム構成

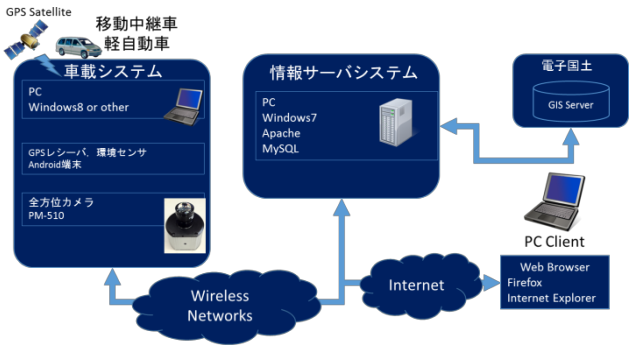


図 10 プロトタイプシステム構成

本システムのプロトタイプシステム構成を図 10 に示す．本システムは車載システムを全方位カメラ，環境情報レシーバ，車載アプリケーション用 PC，情報サーバシステムを情報サーバ PC で構成される．

車載システムの全方位カメラには，Arecont Vision 社製のネットワークカメラに全方位レンズである PALNON レンズを装着した状態のものを使う．解像度はフルサイズで 2496*1848，ハーフサイズで 1248*920 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．

位置情報や環境情報を取得する環境情報レシーバには Android 端末を使用する予定である．Android アプリケーションを実装する際に，センサ情報として，加速度，湿度，重力，ジャイロ，照度，線形加速度，地磁気，圧力，近接，温度，回転ベクトルの各センサを利用することができる．使用する端末によって搭載されているセンサの種類も変わってくるので，どのセンサ情報を利用して，どの端末で実装を行っていくか検討していきたい．

車載 PC には，Sony のノート PC，Vaio Duo 11 を使用する．OS は Windows8，CPU は Intel Core i7 3687U(2.1GHz)，メモリは 8GB，ストレージは SSD 512GB である．タブレット型に変形することができ，モバイル性と機能性を重視する．

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 Windows7，CPU は Intel Xeon X5482(3.2GHz)，メモリは 8GB である．情報サーバシステムで映像の処理等を行うため高負荷に耐えうるスペックである．

9. 実験

本システムはこれまでライブビューモードとストレージビューモードをそれぞれ独立したシステムとして実装を進め，それぞれについて実験を行ってきた．現在，それぞ

© 2013 Information Processing Society of Japan

れのモードを統合することに取り組んでいるので，今までそれぞれで実験してきた結果を示す．

ライブビューモードでは，ネットワークカメラから車載システム，車載システムから情報サーバシステムへ映像を伝送する際の帯域の消費を測定した．この実験では，全方位カメラと車載システム，情報サーバシステム間の通信はすべて有線ネットワークで行った．全方位カメラの解像度はフルサイズ(2496*1848)で，圧縮比を 1，12，20 と変化させて測定した．この実験から，映像の圧縮比が低いほど高圧縮率となり，使用帯域が少ないことが確認出来た．

図 11 各端末間の使用帯域

ストレージビューモードでは，DTN を用いた通信を行った際の，車載システムに蓄積されるデータ量と情報サーバシステムが受信するデータ量を計測した．無線環境は IEEE802.11n，平均スループットは約 390000bit/sec，転送するデータはファイルサイズ 1M，1 秒に 1 ファイル転送を 11 分間続けた．この実験では，意図的に通信途絶状態を作るために，車載システムの無線 LAN の状態を 1 分間接続，3 分間切断，3 分間接続，3 分間切断，接続の順で変化させた．この実験から，無線通信が切断を起こした際に，送信待機ストレージ量が増加し，通信が接続された際にはストレージデータ量が減少していることから，DTN の動作が確認できた．

また，本システムではカメラを移動中継車や普通乗用車など様々な車両に取り付けるため，その高さによって車両に近い部分の撮影可能範囲が変化する．そこで，様々な高さから撮影を行い，撮影可能範囲を測定した．図より，使用する PALNON レンズの画角は周囲 360°，上方向に 38°，下方向に 15°である．下の表がカメラの高さと撮影範囲である．カメラの高さが高ければ高いほど車両に近い部分の

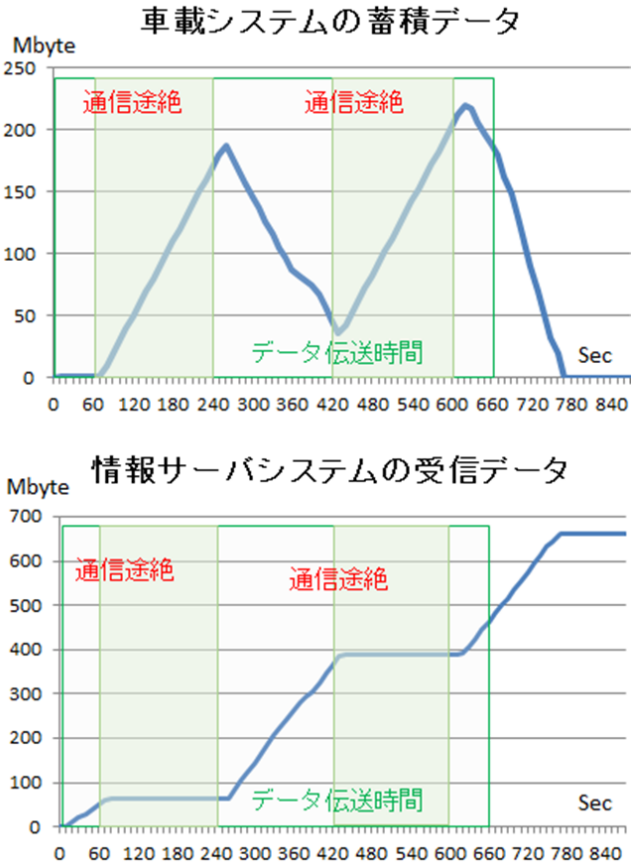
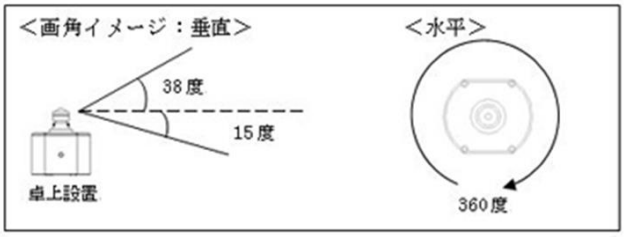


図 12 DTN を用いた通信の際の実験結果



カメラの高さ	撮影可能範囲
2.0m	約6.3m~
1.8m	約5.7m~
1.5m	約5.0m~

図 13 カメラの画角と高さによる撮影可能範囲

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分かったので，用途に応じて高さを可変させられるように検討していく必要がある．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，考えられるケースは多い．

© 2013 Information Processing Society of Japan

10. 今後の検討，課題

本システムを実装していくにあたり，今後検討していく必要がある項目がいくつかある．

第一に，現在，ライブビューモードとストレージビューモードは全く別々のシステムで動作している．その 2 つのシステムを統合することも研究の目的の一つになっている．システムを統合するにあたり，OS の統一を考慮しなければならない．ライブビューモードにおいて車載システムがネットワークカメラから取得した映像を情報サーバシステムに送信する部分は Windows 環境で動作するように実装されており，ストレージビューモードにおいて DTN 機能を実現するためのソフトウェアである DTN2 を使用するためには Linux 環境でなければならない．このままでは車載システムに PC が 2 つ必要になることになり，電源等のリソースの問題からも好ましくない．現在検討しているのは，DTN 機能を実現するためのソフトウェアの変更である．現在は DTN2 を使用しているが，Windows 環境で使用することが出来ないので，Windows 環境に対応できる他の DTN ソフトウェア[8]を調査中である．現在のところ，IBR-DTN[9]と Postellation[10]というソフトウェアの使用を検討している．

第二に，DTN で映像を扱うことを検討していかなければならない．現在のシステムでは DTN で画像のみを扱っている．しかし，これから実装していくシステムでは映像のアーカイブを実現したいと思っている．DTN で映像を取り扱うことができるかどうか，また他にも方法があるのかどうか等も含めて検討していきたい．

また，将来の展望として，情報サーバシステムをクラウドサーバとして，車載システムを搭載した車両をモバイルクラウドサーバとして運用することにより，車両とサーバ間の通信はもちろん，アドホック通信などにより車車間通信を行うことにより，さらに拡張性を持ったシステムにすることを検討している．

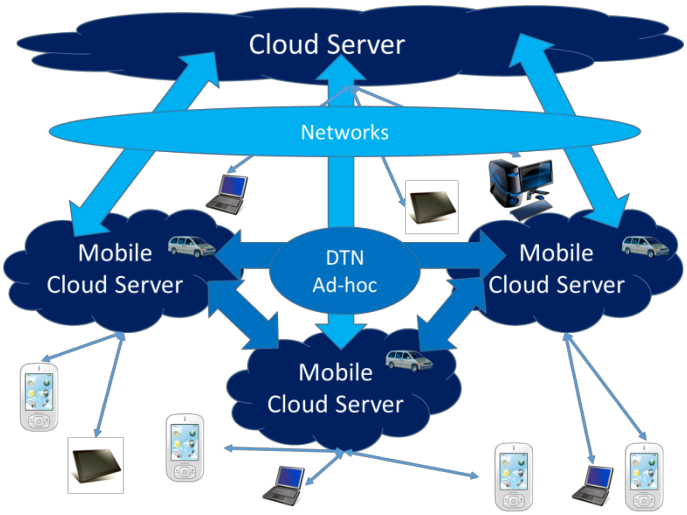


図 14 将来のシステム展望

11. まとめ

本稿では，全方位カメラと車載センサを用いた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提案を行った．ライブビューモードとストレージビューモードを用いて様々な通信環境を考慮した映像の記録や監視を行うことができる． 今後は，2 つのモードを機能的に統合し，フィールドテスト等を行なっていく．

参考文献

1. 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)
2. 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)
3. 斉藤慶太，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
4. 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)
5. 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)
6. 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
7. Delay Tolerant Networking Research Group: http://www.dtnrg.org/wiki/
8. Code - Delay Tolerant Networking Research Group http://www.dtnrg.org/wiki/Code
9. IBR-DTN http://trac.ibr.cs.tu-bs.de/project-cm-2012-ibrdtn
10. Postellation: a Lean and Deployable DTN Implementation http://postellation.viagenie.ca/index.html

© 2013 Information Processing Society of Japan