Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

災害時に有効な無線通信のための自動指向性アンテナ制御システムの構築

旭澤大輔† 柴田義孝†

中山間地域において災害が発生した場合，その環境により孤立しやすい．このため，既存の通信インフラに依存せずに情報の発信が可能な通信方法が必要とされている．
本研究では，災害により連絡手段が確保できない地域で，緊急用情報ネットワークのノード間の通信距離を長距離化するために必要な指向性アンテナ制御システムについて，プロトタイプシステムを構築したので報告する．

Research on Automatic Directional Antenna Control System for Long Distance Wireless Network in Disaster Situation

Daisuke Asahizawa† and Yoshitaka Shibata†

At disaster situation, the communication how dispatch of the information is possible is needed without depending on an existing communications infrastructure.
In this research, we built a prototype system about the automatic directional antenna control system for long distance wireless network in disaster situation.

1. はじめに

1.1 背景

岩手県では，岩手・宮城内陸地震，岩手県沿岸北部地震と近年たびたび大きな地震に見舞われている．また，新潟県においても，近年地震による被害が発生している．このような災害発生時において，国民の生命，身体および財産を保護するための手段として，情報通信手段を活用した応急対策が必要である．しかしながら，大きな災害が発生した際，電話や有線インフラなどの従来の通信インフラは使用できなくなることが予想される．実際，過去の災害でも，加入電話や携帯電話は輻輳や停電，通信ケーブルの断線，通信機器の損傷といった要因で使用できないというケースが発生している．電話が利用可能な場合でも，災害発生直後より被災地への通話が激増し，発信規制がかかるため，一般住民の安否情報の発信，被災状況を把握するための手段としては利用しにくい．またその他有線インフラも同様のリスクを抱えており，災害発生時の利用はあまり期待できない．

一度に多数の相手に情報伝達が可能なテレビ･ラジオなどの放送では，情報の受信はできるが，発信はできない．このため，被災状況の把握や避難住民の安否確認，そして物資供給のための連絡手段として，既存の通信インフラに依存せず，情報の発信が可能な通信方法が必要とされている．

このような場合に使用されるネットワーク形態は，端末のみで端末相互間の通信を実現可能なアドホックネットワークの利用が時間的・状況的にも有用であるが，従来使用されてきた無指向性アンテナによるネットワークではノード間の距離が近距離であることが前提であった．災害時に，避難所と災害対策本部，あるいは孤立した集落と外部との通信を想定した場合，アドホックネットワークを構築するノード数を実用的な数にする為にはノード間の距離を数キロメートルにまで広げる必要がある．長距離での通信を可能とするためには，指向性アンテナを使用するとよいが，常に通信相手にアンテナを向ける必要がある．

ここ数年で無線 LAN に代表される，多用途に利用可能な無線 IP 通信が低価格化し，普及してきている．このような無線 IP 通信方式では双方向で，映像，音声，データなどをやり取り可能である．

1.2 本研究の目的

本研究では，災害対策本部と避難所間を想定した，長距離無線 IP 通信を実現することを目的とする．災害対策本部と避難所間は地形の影響により直接見通すことができず，直接の通信ができない場合を想定する．そのような場合に，移動中継車を使用し，通信の中継を行う．

† 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科
Graduate school of software and information science, Iwate prefectural University.

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

無線通信の場合，通信距離の長距離化の方法として，送信出力の増加，アンテナ感度の向上が挙げられる．送信出力の増加については，電波法によりその送信出力は制限されており，容易に高出力化することができない．アンテナ感度の向上については，より高感度なアンテナを使用し，見通しのきくより高い場所に設置することが望ましい．アンテナの種類は大きく分けて，指向性アンテナと無指向性アンテナの二つある．一般に指向性アンテナは特定の方向からの電波の受信に優れるという特性を持つ．そのため，長距離通信には指向性アンテナが適している．

指向性アンテナを通信に利用するためには，相手局や自局の移動をも考慮すると次のような機能を持つ必要がある．

- 通信相手の現在位置，自らの現在位置を知る機能
- 自位置と通信相手の位置から方位角，仰角を算出する機能
- 所望の方位角，仰角方向にアンテナを向ける機能

上記のような機能を持つシステムのプロトタイプシステムを構築し，実際に車両に搭載して，その性能評価を行った．

2. システム概要

2.1 システム概要

本システムの概要図を図 1 に示す．本システムはインターネットへのアクセス回線のある災害対策本部と避難所の間を無線 IP ネットワークで結ぶことにより，避難所でのインターネットを用いた安否情報，災害情報等の発信を可能とする．無線 IP ネットワークには 2 種類のネットワークを用いている．一つは，帯域が狭いが，長距離で通信可能なネットワーク(ex.衛星通信，アマチュア無線)，もう一つは帯域が広いが，近距離で通信可能なネットワーク(ex.無線 LAN)である．狭帯域ネットワークは自局位置，相手局位置情報，ネットワーク経路制御情報などのやり取りに使用し，広帯域ネットワークはインターネットへの接続回線として，IP 電話，テレビ電話，その他データ通信等に利用される．

2.2 アンテナの種類

無線通信で使用されるアンテナは大別して，指向性アンテナと無指向性アンテナの 2 種類に分類できる．八木アンテナやパラボラアンテナといった指向性アンテナは特定方向での送受信に向いており，その方角に関しては非常に感度が高い．それに対し，無指向性アンテナは全方位からの電波を受信できるため，通信相手の方角を考慮する必要がなく，移動しながらの運用や，相手が移動する場合の運用に向いている．

本システムにおいては，通信距離の長距離化を図るため，指向性アンテナを使用する．前述の通り，指向性アンテナは通信相手にアンテナを向ける必要があるので，後述する Pan Tilt Unit(PTU,電動雲台)とともに用いる．

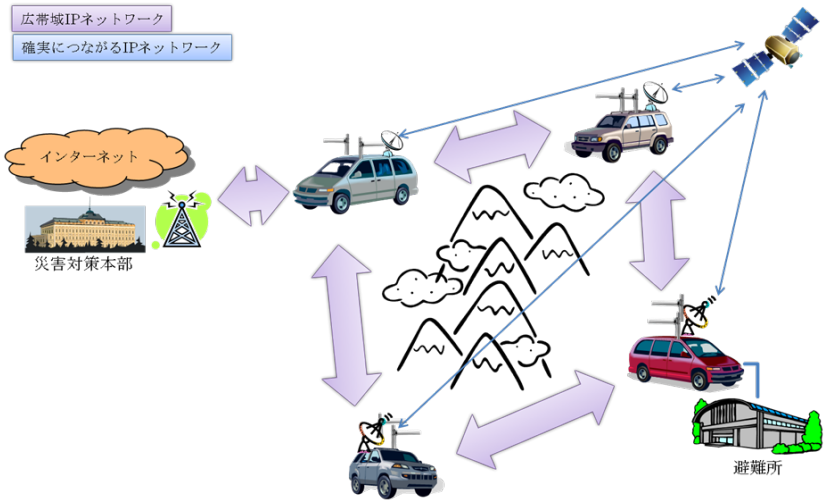


図 1 本システムの概要図



図 2 各種アンテナの指向特性

2.3 Pan Tilt Unit (PTU)

指向性アンテナを移動しながら利用する場合，アンテナを通信相手に向ける必要がある．実際にアンテナを所望の方角に向ける機器として，PTU を使用する．これは，一般にカメラなどの遠隔制御で使用されているものであり，本システムでは PTU にアンテナを搭載することで方向制御を行う．通信相手と高度が異なる場合があることを考慮すると，Pan (水平方向)のみでなく Tilt (垂直方向)も動作可能な物を使用する．移動しながらの運用でも利用できるよう，アンテナ(1kg 程度)をつけた状態の動作速度が 360° を数秒程度で動作可能なものを使用する．

PTU と PC によるコントローラとの接続には，RS-232C を使用し，車載することが前提であるので，防水，屋外使用に耐えられるものを使用する．

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

3. システムアーキテクチャ

本システムのシステムアーキテクチャについて述べる．本研究では，通信方法の具体例として広帯域無線通信に無線 LAN, 狭帯域無線通信にアマチュア無線を使用している．

3.1 PTU 制御方法

本システムのアーキテクチャを図 3 に示す．図は移動局(通信中継車)側であり，PC に無線 LAN 機器，PTU，GPS,アマチュア無線機が接続されている．これらの動作は次のとおりである．

1. GPS から自位置を求める．
2. アマチュア無線を経由し，相手位置情報を受ける．
3. 自位置，相手位置より方位角，仰角算出する
4. PTU 駆動

これを繰り返すことで連続的な動作を可能にする．

3.2 ソフトウェア構成

本システムのソフトウェア構成を図 4 に示す．移動局と固定局からなり，それぞれ同じように構成されている．PC には GPS,アマチュア無線，WLAN,PTU などが接続されている．

無線 LAN 経由で互いのアプリケーション同士が通信し，アマチュア無線経由で互いの GPS データの送受信を行う．

ソフトウェアの 各機能の説明を下記に示す．

- Position Manager：GPS の測位データから相手局までの方位角，仰角を算出，PTU の駆動単位 position に変換
- PTU Controller：コマンドにより PTU を駆動
- Communication Manager：自 GPS データの送信，相手 GPS データの受信，ネットワーク制御情報等の送受信

3.3 通信ネットワークシステム(アマチュア無線)

図 5 にアマチュア無線の通信ネットワークシステムを示す．互いの位置情報をやり取りする部分のみを図に示している．アマチュア無線は Communication Manager を経由して接続されており，ここから，固定局から移動局へ位置情報を送信する．また，それぞれ GPS により取得した自位置情報は Position Manager に渡され，移動局では相手位置情報と合わせ，方位角，仰角を算出し，固定局では Communication Manager に渡され，移動局へ送信される．

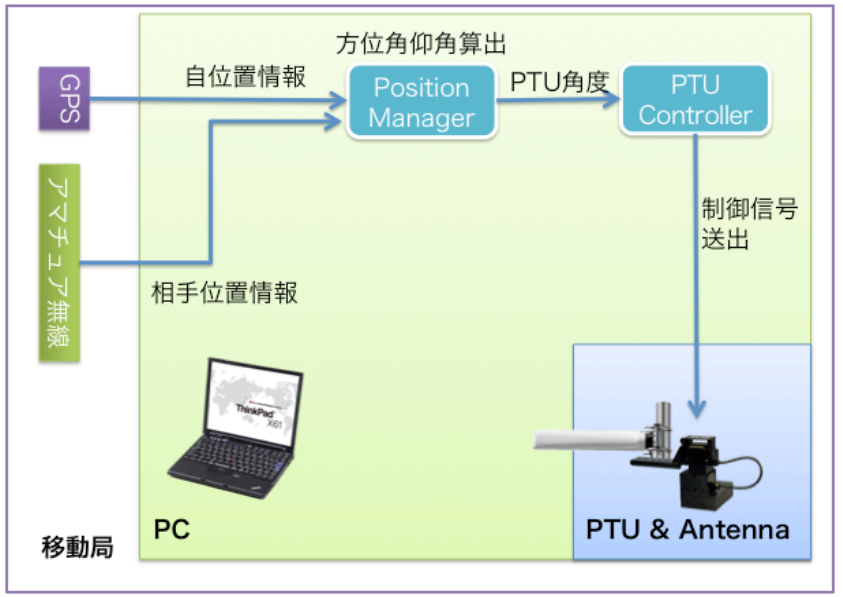


図 3 PTU 制御システム

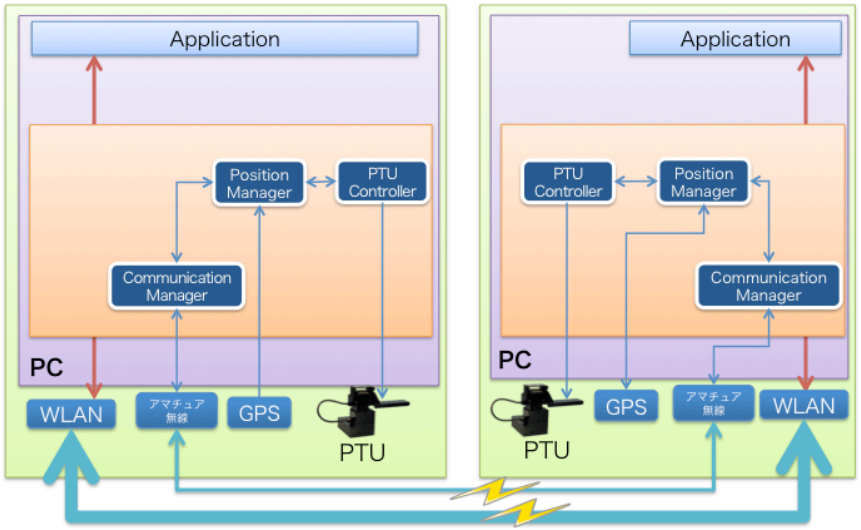


図 4 ソフトウェア構成

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

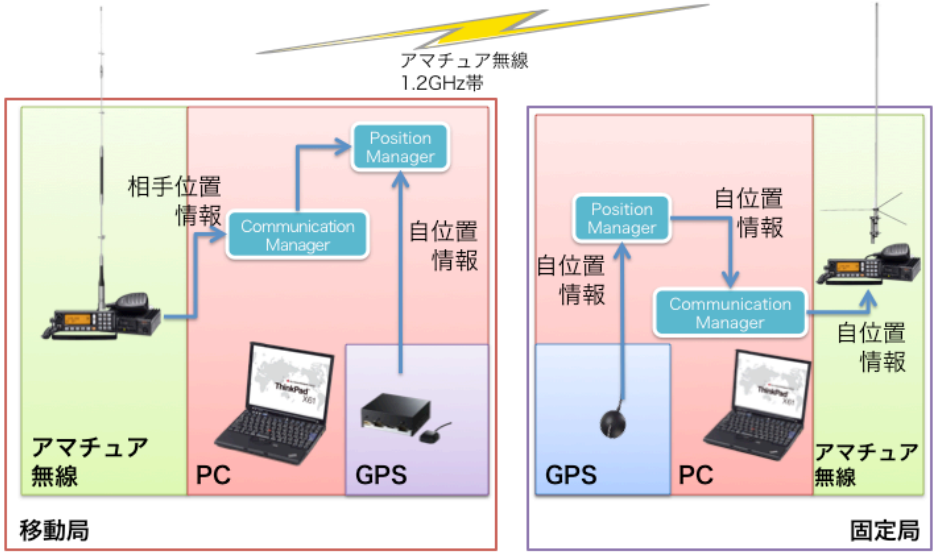


図 5 アマチュア無線を用いた通信ネットワークシステム

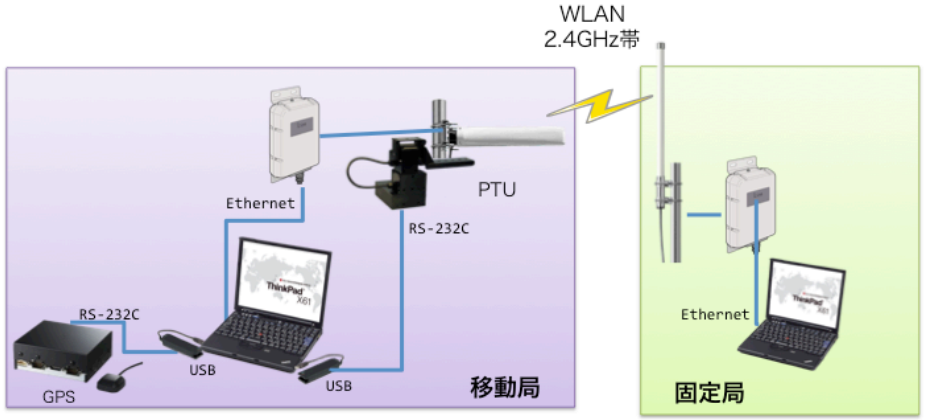


図 6 プロトタイプシステム構成図

4. プロトタイプシステム

4.1 プロトタイプシステム構成

図 6 にプロトタイプシステム構成図を示す．プロトタイプシステムは一台の移動局(移動中継車)と，固定局からなる．PC に GPS，無線 LAN 機器が接続される．これらの動作は前述のとおりである．

ここで，広帯域ネットワークには免許不要で広帯域通信が使いやすい無線 LAN(IEEE 802.11b/g, 2.4GHz, max.54Mbps)を使用している．無線 LAN で使用するアンテナには，車両走行中でも使いやすい小型八木アンテナを使用している．

本プロトタイプシステムでは，移動中継車が走行しながら，指向性アンテナが常に固定局方向に向き，通信可能なことを確認する．

4.2 PTU 駆動範囲

本システムで使用した PTU には，駆動範囲の物理的な制限がある．

4.2.1 PAN 方向

PAN 方向の駆動範囲は，図 8 のようになる．正負それぞれ 159° を超える場合は最大値である 159° となるように駆動させる．PTU 駆動単位である Position は，正負それぞれ 3085pos であるので，1pos 当たりの駆動角(最小分解能)は 0.0515° である．

4.2.2 Tilt 方向

Tilt 方向の駆動範囲は図 7 の通りである．上方向きには最大 31°，下方向きに 47° 駆動する．1pos 当たりの駆動角(最小分解能)は，0.134° となる．

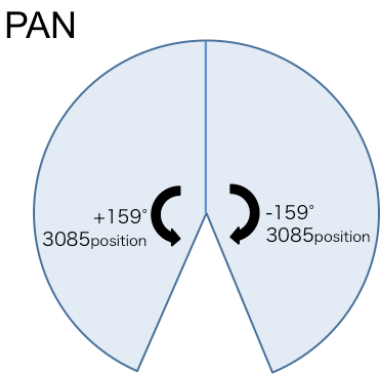


図 8 PAN 方向駆動範囲

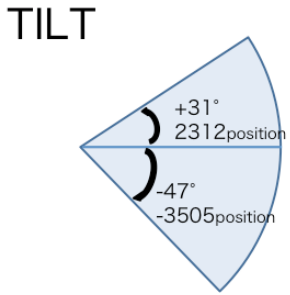


図 7 TILT 方向駆動範囲

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

5. 評価および考察

5.1 プロトタイプシステム方位角動作予備実験

5.1.1 実験方法

本システムの水平方向の動作を確認するため，実際にアンテナを搭載した PTU を駆動させ，次のような実験を行った．

図 10 のように，緯度経度が既知の点(固定局)を設定し，それと平行に測定点を設けた．各測定点においては緯度，経度，スループット，パケットロス率を測定し，本システムにより固定局への方位角および距離を算出した．この方位角を実測値とし，固定局から基準とした測定点(0m)までの距離と，そこから測定点までの距離から，三平方の定理，三角関数を用いて理論値とする距離，方位角を算出した．

評価として，それらの理論値，実測値の比較を行った．

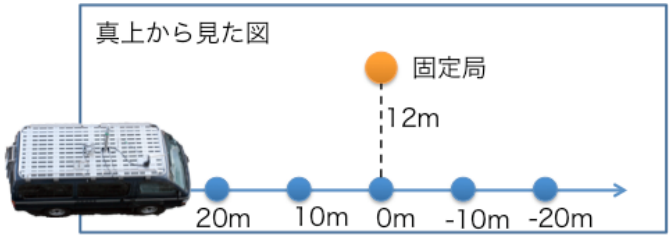


図 10 方位角動作実験ポイント

5.1.2 実験結果

測定結果を図 9 に示す．理論値と実測値の誤差が最大であったのは位置 0m の点で 52° であった．この点は固定局の真横であるため距離は 12m だが，実測値では 7m と 5m もの誤差があった．これは GPS の測位精度によるものと考えられる． 今回の実験では，5m の測位誤差があると方位角ではおよそ 22.6° の誤差となる．測定区間が 12~20m 程度と非常に近距離であったため，数字としては大きな誤差となって出てくる．

目標を使用するアンテナの半値角である 30° 以内とすると，今回の実験では達成できなかったが，スループットの変化を見ると常に 3Mbps 程度確保されており，通信を確保することは可能であった．

5.2 プロトタイプシステム仰角動作予備実験

5.2.1 実験方法

本システムの垂直方向の動作を確認するため，実際にアンテナを搭載した PTU を駆動させ，次のような実験を行った．

図 11 のように，高度が既知の点(固定局)を設定し，そこから直線上に各測定点を設置

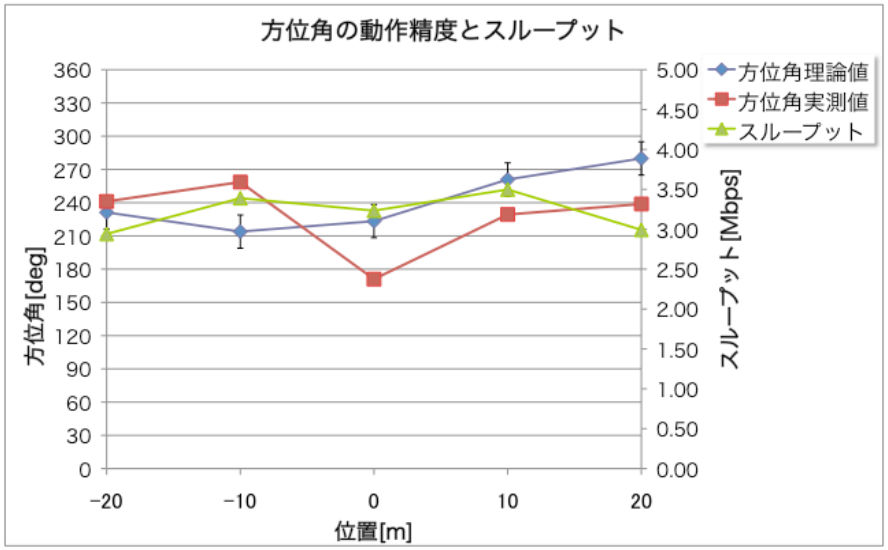


図 9 方位角動作実験

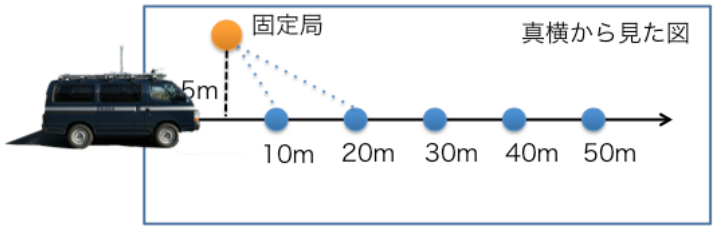


図 11 仰角実験測定ポイント

した．各測定点においては，測定緯度，経度，スループット，パケットロス率を測定し，本システムにより固定局への仰角および距離を算出した．この仰角を実測値とし，固定局から測定点までの距離と，固定局の高度から三角関数を用いて理論値とする仰角を算出した．

評価としては，仰角について理論値と，実測値の誤差を比較した．

5.2.2 実験結果

10m の地点では 24° 近くあった誤差は 50m では 0.9° と遠距離になるについて仰角の誤差が少なくなっている．これは，測定距離が長くなったことにより角度の変化

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

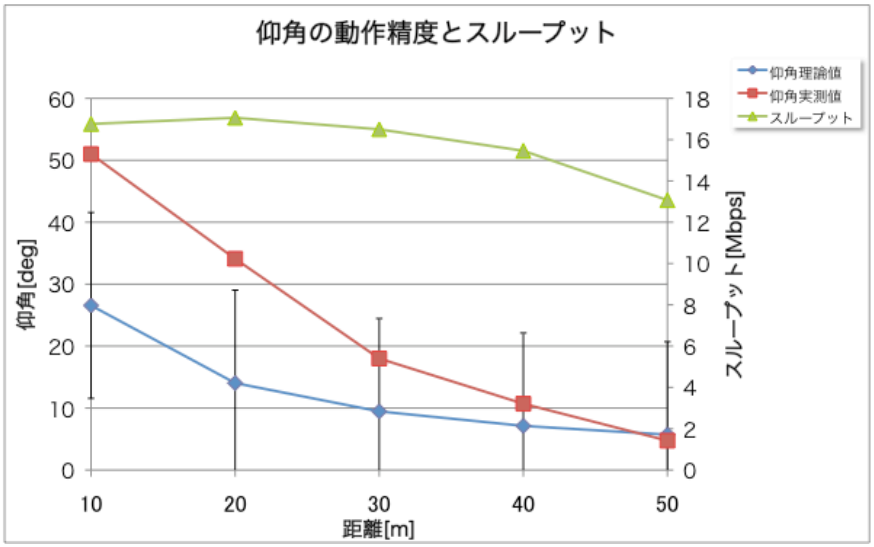


図 12 仰角動作実験結果

が小さくなることによる．

スループットが増加したことについては，アンテナ位置が高いことにより高感度に送受信できたためと考えられる．

5.3 アンテナの指向特性調査

5.3.1 実験方法

本プロトタイプシステムで使用する指向性アンテナの指向特性を調べるため，相手局アンテナとの向かい角を変化させたときのスループット，パケットロス率を測定する．プロトタイプシステムに合わせ，片側は無指向性アンテナとし，通信距離が 300m，1200m の場合それぞれについて調べる．

5.3.2 実験結果

図 14 に測定結果を示す．近距離(300m)の場合は 90 度傾けても数 Mbps 程度で通信できているが，長距離(1200m)では，正対から 10 度をすぎると数百 kbps 程度と大きくスループットが落ちてしまう．このため，特に長距離の場合に，通信を可能にするため，アンテナの方向制御が重要であると言える．

6. まとめと今後の課題

本稿では，災害時の利用を想定した長距離無線通信の一手法として，指向性アンテナおよび PTU を用いた通信システムのプロトタイプを構築し，その有用性を評価した．

GPS を用いて通信相手までの方位角，仰角を算出し，アンテナを駆動させる動作までの動きを確認した．非常に近距離で動作試験を行ったため，方位角動作試験では GPS の測位誤差が非常に大きく出る結果となったが，より距離が離れた仰角動作試験では，測定距離離れるにつれ，誤差が少なくなる結果が得られた．実際の運用では，数 km 程度離れることが想定されるため，測定誤差は許容範囲となるであろう，また，指向性アンテナの向きによる通信特性の変化は，特に長距離の場合にアンテナの向きが重要であることがわかった．これらのデータをもとに，実環境での評価を行っていく．

本プロトタイプシステムでは，固定―移動という組み合わせであったが，実際に車両に搭載し，車両間で通信を行うためには，移動―移動という組み合わせを考える必要がある．その際には，互いに指向性アンテナを搭載した PTU を搭載しているため，アンテナの方向合わせの方法を検討する必要がある．

複数台の PTU 搭載車両が用意できた場合に，マルチホップした時の遅延や，アドホック的にネットワークを形成した場合の経路制御は，本研究では検討していない．これらは，今後検討していく必要があろう．

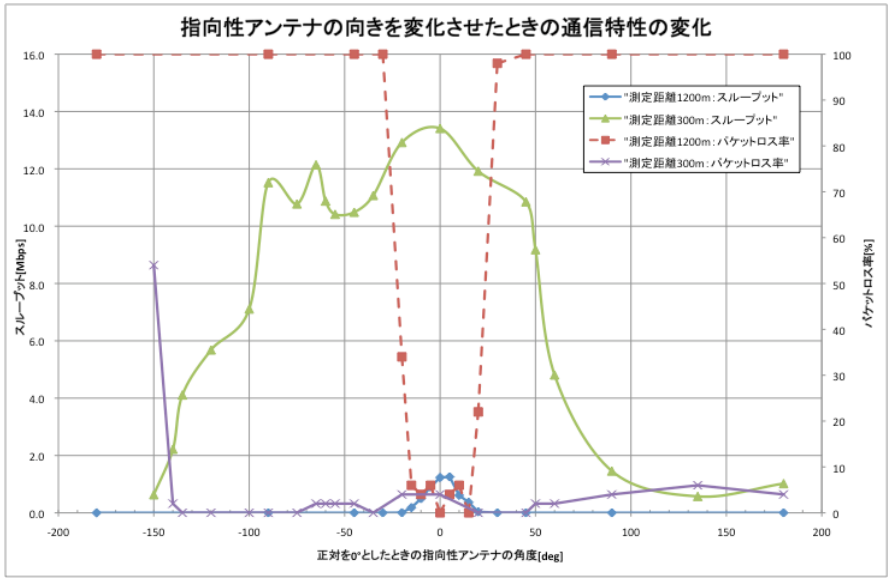


図 13 指向性アンテナの方向による通信特性の変化

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-142 No.42
Vol.2010-CSEC-48 No.42
2010/3/5

7. 参考文献

1))柴田義孝,旭澤大輔,佐藤洋介,小笠原弘樹,千葉 豪,高畑 一夫,“気球ワイヤレスアドホックネットワークを利用した災害情報システム”，日本災害情報学会第 10 回研究発表大会，pp.227～232(2008).
2) 旭澤大輔,佐藤洋介,谷津啓介,佐藤剛至,柴田義孝,広岡淳二“災害時に有効な気球ワイヤレスネットワークの構築および性能評価”，情報処理学会第 71 回全国大会，pp535-536，(2009).
3) Giuseppe Bianchi, Fabrizio Formisano, Domenico Giustiniano, “802.11b/g Link Level Measurements for an Outdoor Wireless Campus Network”, Proceedings of the 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'06), 2006.
4) Ghislain Maurice N. Isabwe, Kyeong Soo (Joseph) Kim, “A Novel Approach to WLAN Mesh Interworking with Multiple Mesh Portals”, Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2008), pp.641-646, 2008.
5) Pål Grønsund, Paal Engelstad, Torbjørn Johnsen, Tor Skeie, “The Physical Performance and Path Loss in a Fixed WiMAX Deployment”, International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC’07), pp.439-444, 2007.
6) Abdulrahman Yarali, Babak Ahsant,“802.11n: The New Wave in WLAN Technology”, international conference on mobile technology, applications, and systems (Mobility '07),pp.310-316, 2007.
7) 岡田和則,”災害時の携帯電話の問題と対策”,電子情報通信学会誌 Vol.92, No.3, pp.179-183, 2009.
8) 岡政秀,”通信事業者の災害対策”,電子情報通信学会誌 Vol.92, No.3, pp.174-178, 2009.
9) 渡辺正浩,小花貞夫,渡辺尚,”スマートアンテナを用いた無線 LAN をベースとするアドホック無線装置の設計と考察”,情報処理学会論文誌 Vol.49 No.1,pp.288-299(2008)
10) 岩手県農林水産部農業振興課：“中山間地域の意味を知ろう”, http://www5.pref.iwate.jp/~aff/daichi_mori_umi/daichi/right17.html
11) Víctor González, Alberto Los Santos, Carolina Pinart, Francisco Milagro ,“Experimental demonstration of the viability of IEEE 802.11b based inter-vehicle communications”, Tridentcom 2008, 2008.
12) Michael Buettner, Eric Anderson, Gary Yee, Dola Saha, Anmol Sheth, Douglas Sicker,Dirk Grunwald,“A Phased Array Antenna Testbed for Evaluating Directionality in Wireless Networks”,MobiEval’07，2007.

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan