

Android 端末を用いたアドホックネットワーク上に実装した Web アクセスシステム

北川 大智^{†1} 野口 拓^{†1} 川合 誠^{†1}

近年急速に携帯電話が普及し、生活圏の非常に広い範囲でインターネットにアクセスできるようになった。しかし、悪条件の屋内や地下鉄のような遮蔽物に囲まれた場所など、未だにネットワークインフラが整備されていないエリアも存在し、これに対しては新たに通信基地局を設置するなどの対策が必要となる。本研究ではそのような通信不能であるエリアにおいて、複数の Android 端末でアドホックネットワークを構成することでインターネットへのアクセスを可能とする Web アクセスシステムを構築した。また、性能評価により端末数 3 のアドホックネットワーク上でデータ数 20 の Web ページの表示を約 8 秒で表示できる性能であることを確認した。

Web Access System implemented on an Ad-Hoc Network Using Android Terminals

DAICHI KITAGAWA,^{†1} TAKU NOGUCHI^{†1}
and MAKOTO KAWAI^{†1}

Recent rapid spread of mobile phones enabled to access to the Internet in a very wide zone of life. However, it is still required to take appropriate measures such as new base station placement in the areas where infrastructure is underdeveloped as in adverse indoor places and shielded subways. In this study we implement a Web access system to enable Internet access in such communication blocked areas by configuring an ad-hoc network with multiple Android terminals. Additionally, we evaluate the system performance and confirm that this system can display the Web pages with 20 data in about 8 seconds on the ad-hoc network with 3 terminals.

^{†1} 立命館大学情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

近年携帯電話からのインターネット利用者が急増している。携帯電話の通信機能を利用して、誰もが場所や時間を問わずインターネットにアクセスして情報を得られるようになった。また、スマートフォンなどの高機能かつアプリケーションの開発が容易な携帯電話端末が普及したことにより、様々なアプリケーションが開発され、従来よりも幅広い用途にインターネットが活用されるようになった。

携帯電話のネットワークインフラにより、生活圏においては広い範囲でインターネットアクセスが可能である。ところが、通信基地局からの電波が遮断されるような悪条件の屋内や、地下鉄などではインターネットアクセスが不能なエリアも存在する。

このようなエリアでインターネットアクセスを可能にするには新規に通信基地局を新設したり無線アクセスポイントや通信中継機などを設置することで、通信可能エリアを拡大する必要があるが、これらの手段は新しい機器を設置するコストを必要とする。

このようなインターネットアクセス不可のエリアにおいても、インターネットアクセスを可能とすることを目指し、Android 端末上で動作する Web アクセスシステムを構築した。本システムはインターネットアクセス可能な Android 端末が 1 台でも存在すれば、他の端末がその端末を経由して通信を行うようアドホックネットワークを構成することで、インターネットアクセスを可能とする。

本稿では上記目的に沿って構築したシステムについて報告する。また、その性能を評価し提案システムの抱える課題を確認する。

2. アドホックネットワークを利用したインターネットアクセス

アドホックネットワークは無線移動端末間でネットワークを構成し、同じアドホックネットワーク内の無線移動端末同士が通信することを想定したネットワークである。インターネットのような外部ネットワークにアドホックネットワークを介して間接的に接続することを想定した既存のアドホックネットワーク技術は少数である。

図 1 はアドホックネットワークとインターネットの相互接続の様子を示す。無線移動端末によって構築されたアドホックネットワークとインターネットが接続された環境で、異なるネットワークに属した端末がお互いに通信をするためには、相互接続のためのゲートウェイ機能を有する端末（ゲートウェイ端末）が必要になる。各無線移動端末は他のネットワークへの通信要求が発生するとアドホックネットワーク内のゲートウェイ端末を経由して他の

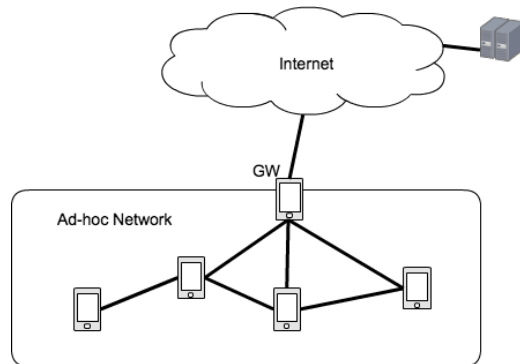


図 1 アドホックネットワークとインターネットの接続

ネットワークと通信する。ゲートウェイ端末はアドホックネットワーク内の通信プロトコルと、他のネットワークの通信プロトコルを処理し、両方向の通信に対し適切な通信形式の変換やセッション維持をしなくてはならない。

また、二つの異なるネットワークでは端末を一意に識別する識別子が異なるため、識別子の変換が必要となる。1) ではアドホックネットワークと IPv6 ネットワークの相互接続システムを検討しているが、アドホックネットワークを構成する端末に Link Local Address を割り当てることでこの問題に対応している。ただし、アドホックネットワーク内において IPv6 の機能を制限している。IPv6 ネットワークとアドホックネットワークを IPv6 の機能を全て利用可能な状態で接続するにはシステムに第 3 層以下の互換性が必要である。

本稿の提案システムはインターネットとの間で IPv6 ネットワーク機能の互換性をもたない。提案システムはアドホックネットワーク部とインターネットとの接続部にゲートウェイ端末が存在し、ゲートウェイ端末はアドホックネットワーク部とインターネットからの通信をそれぞれアプリケーション層で処理する。このため処理にかかるオーバーヘッドは大きい。インターネットとの接続に関してアプリケーション層以外の層における互換性を必要としない。

既存のネットワークをアドホックネットワークによって拡張するシステムとして無線メッシュネットワークが存在する。無線メッシュネットワークは無線 LAN AP 同士を無線リンクで相互接続しアドホックネットワークを構成する。無線メッシュネットワークを利用することで AP の設置コストを削減することが出来る。無線 LAN とモバイルアドホックネッ



図 2 動作画面

トワークの組み合わせ方式²⁾ やオンデマンド方式で生成されるリンクテーブルを利用した WAPL³⁾ などが提案されている。無線メッシュネットワークは AP 間を繋ぐネットワークであり、無線移動端末間でアドホックネットワークを構成する本システムとは競合しない。

3. システム構成

3.1 システム概要

本システムは Web ページを要求する要求端末がアドホック中継端末とゲートウェイ端末を介してインターネットアクセスすることを可能とする。図 2 は提案システムを Android タブレットシステム上で動作させた時の Android 動作画面である。Web ページが画面右側に表示され、一般的な Web ブラウザと同様にリンクをタッチすることで Web ページの閲覧や移動が可能である。要求端末のユーザはゲートウェイ端末までの経路指定を必要とするが、アドホック中継端末とゲートウェイ端末のユーザは特別な操作を必要としない。

ブラウザに Web ページが読み込まれる間に要求端末とゲートウェイ端末間で通信が発生する。要求されるデータは HTML ファイルや CSS ファイルなどのテキストファイルや画像ファイルなど、Web ページを構成する各ファイルである。

本システムは独自にアドホックネットワークを構築するが、実装にはすべて Java 言語を

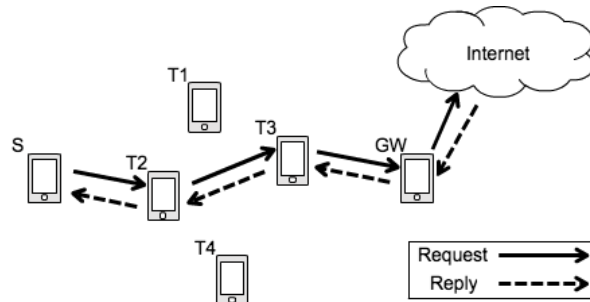


図 3 提案システムの構成

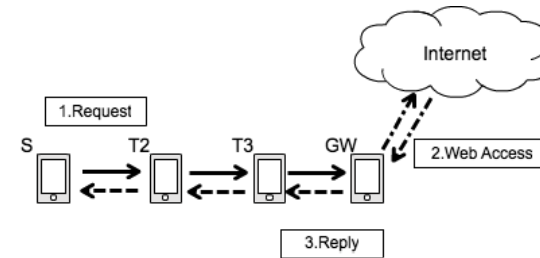


図 4 Web ページデータの取得

用いており、Android の一般アプリケーションとして動作する。一般アプリケーションとしてシステムを構築することで、システムに対応する Android 端末が増加し、システムを普及させやすい特徴がある。

端末間の通信はアドホックモードの WiFi を用いて行われる。アドホックネットワークを構成するために、独自形式の要求パケットと返答パケットを使用する。要求パケットは UDP 通信プロトコルを用いて送信し、返答パケットは TCP 通信プロトコルを用いて送信する。実装の簡略化のため TCP 通信プロトコルの機能を除き、本システムは通信時のエラー検出・訂正は行わない。また、今回の実装ではアドホックネットワーク内の通信に静的ルーティングを使用し、要求端末はゲートウェイ端末までの経路を事前に取得していることとする。

本システムの構成例を図 3 に示す。本システムは 3 種類の Android 端末により構成される。端末 S は Web ページを要求し表示する要求端末であり、要求端末から要求パケットが送信される。端末 T (図 3 における端末 T1, 端末 T2, 端末 T3, 端末 T4) はアドホック中継端末であり、要求パケットと返答パケットを中継する機能を持つ。端末 GW はゲートウェイ端末であり、要求端末の要求に応じてインターネットアクセスを行う。本システムは要求端末とゲートウェイ端末それぞれ 1 台と、アドホック中継端末 1 台以上の合計 3 台以上の端末によって構成される。要求端末とアドホック中継端末はインターネットアクセス不可であり、ゲートウェイ端末のみインターネットアクセス可能とする。また図 3 では、端末 S と端末 GW は互いに通信範囲外に位置し直接通信はできない、端末 S が送信した要求パケットは端末 T2, 端末 T3 を順に辿りゲートウェイ端末へ送られる。

要求端末がデータを要求してからそれを入手するまでの過程を図 4 に示す。この過程は以下の 3 つの処理に分類される。

要求処理 (Request) 要求端末は要求パケットをアドホック中継端末を経由してゲートウェイ端末へ送信する。

Web アクセス処理 (Web Access) ゲートウェイ端末はインターネットへアクセスし、要求に対応するデータを取得する。

返答処理 (Reply) ゲートウェイ端末は返答パケットをアドホック中継端末を経由して要求端末へ送信する。

要求開始から返答完了までを要求する各データ毎に繰り返し、Web ページ内のすべてのデータを要求端末が取得完了した時点で要求端末は Web ページの表示を完了する。各データの要求は順番に行われる。1 つのデータの返答が完了するまで次のデータの要求はブロックされる。これは実装を簡単にするが、オーバーヘッドが大きく、改良の余地がある。例えば、複数の要求を 1 つの要求にまとめて処理したり、並列に要求を行うような改良が考えられる。本システムは実装の簡略化のため今回はそれらの改良を行っていない。

3.2 要求処理

要求パケットの構造を図 5 に示す。要求パケットは固定長データ 6 つと個数が可変のデータ 1 つによって構成される 7 つのフィールドを持つ。パケット送信ノードはパケットを送信した直前の端末を識別する情報である。リクエスト ID は要求端末ごとに管理される一意の番号である。ある要求端末において最初の要求のリクエスト ID は 0 であり、以降要求が発生するたびにリクエスト ID は 1, 2, 3... と増加していく。リクエスト URL は要求されるデータの URL であり、HTTP プロトコルと HTTPS プロトコルを想定する。リクエストノードは要求を発生させた要求端末を識別する情報である。宛先ノードはゲートウェイ端末を識別する情報である。ホップ数は要求パケットの現在のホップ数を表す。初期値は 0 であり、経路上の端末が要求パケットを転送するたびに 1 ずつ増加する。経路ノード 0 から

要求パケット	
パケット送信ノード	
リクエストID	リクエストURL
リクエストノード	宛先ノード
ホップ数	
経路ノード0	
経路ノード1	
...	
経路ノードn	

図 5 要求パケットフォーマット

返答パケット	
パケット送信ノード	
リクエストID	
返答ノード	宛先ノード
ホップ数	
経路ノード0	
経路ノード1	
...	
経路ノードn	
リソース	

図 6 返答パケットフォーマット

経路ノード n は経由する端末を識別する情報である。経路情報は DSR⁴⁾ や AODV⁵⁾ などの任意のルーティングプロトコル実装により取得する。本稿では実装の簡易化のため経路は手動で指定している。要求パケットは経路ノード 0 から経路ノード n まで順番に転送される。

要求が発生すると、要求端末は要求の URL と指定された経路に基づき要求パケットを生成し、経路ノード 0 に向けてそれを送信する。経路上の端末は要求パケットを受け取ると、要求パケットのホップ数と経路情報から次に転送すべき端末を取得し、要求パケットを転送する。経路ノードをすべて経由し最後にはゲートウェイ端末が要求パケットを受信する。

3.3 Web アクセス処理

ゲートウェイ端末が要求パケットを受信すると、ゲートウェイ端末は要求パケットからリクエスト URL を取得する。インターネットへアクセスし、リクエスト URL に対応するデータを取得する。

ゲートウェイ端末は複数の要求端末から同時に複数の要求を受ける可能性がある。その場合は複数の要求を並列に処理し、返答までの時間の短縮を図る。

3.4 返答処理

返答パケットの構造を図 6 に示す。返答パケットは固定長データ 5 つと個数が可変のデータ 1 つとサイズが可変長のデータ 1 つによって構成される 7 つのフィールドを持つ。パケット送信ノードはパケットを送信した直前の端末を識別する情報である。リクエスト ID は要求端末ごとに管理される一意の番号である。返答ノードはゲートウェイ端末を識別する情報である。宛先ノードは要求を発生させた要求端末を識別する情報である。ホップ数は要求パケットの現在のホップ数を表す。経路ノード 0 から経路ノード n は経由する端末を識別する情報である。リソースは要求されたリクエスト URL に対応するデータである。リソース

のデータサイズは要求によって変動する。

ゲートウェイ端末は要求に応じてインターネットからデータを取得すると、返答パケットを作成する。返答パケットは要求パケットに含まれていたリクエスト ID と、取得したデータを含む。経路ノード 0 から経路ノード n は要求パケットが経由した端末を逆順に辿るように設定する。ゲートウェイ端末から要求端末までは要求と同様の手順で転送される。要求端末が返答パケットを受信すると、返答パケットに含まれるリクエスト ID から対応する要求への返答であると判別し、データの取得が完了する。

4. 性能評価

4.1 性能評価概要

提案システムの有意性および課題を確認するため提案システムの性能評価を行った。性能評価は提案システムの単純な転送速度とオーバーヘッドを明らかにするため、電波障害の少ない良好な室内環境で行った。ゲートウェイ端末は実測値 15Mbps 程度のブロードバンド回線へ接続する。Web ページ表示の要求から表示完了までに要した時間を応答時間とし、Web ページに含まれるデータ数とデータサイズを変化させ、Web ページの構成の違いによる応答時間の変化を確認する。

性能評価の実験構成を図 7 に示す。構成端末数は 3 である。端末 S は要求端末であり、端末 T0 はアドホック中継端末であり、端末 GW はゲートウェイ端末である。アクセスポイ

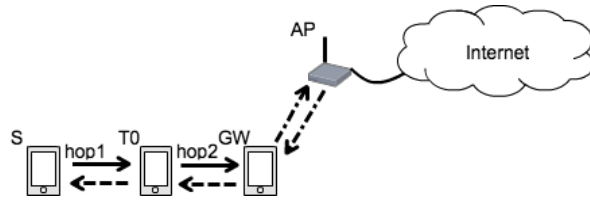


図 7 性能評価構成図

表 1 端末性能

製品名/製品型番	ICONIA TAB A500-10S16
OS	Android 3.2
CPU	Dual Core ARM Cortex A9 CPU (1GHz)
Memory	1GB DDR2
通信モジュール	IEEE802.11b/g/n

表 2 性能評価用 Web ページ

ページ名	p1	p2	p3	p4	p5	...	p20
ページサイズ	200KB	200KB	200KB	200KB	200KB	...	200KB
データ数	2	3	4	5	6	...	21

ページ名	pp1	pp2	pp3	pp4	pp5	...	pp20
ページサイズ	10KB	20KB	30KB	40KB	50KB	...	200KB
データ数	1	1	1	1	1	...	1

ページ名	site1 (google)	site2 (yahoo)
ページサイズ	410KB	249KB
データ数	6	31

ント AP はインターネットに接続された無線アクセスポイントである。端末 S と端末 T0 はインターネットへは直接アクセスすることはできない。端末 GW はアクセスポイント AP に接続することで、Web アクセスを可能とする。ホップ数は 2 である。各端末間距離は 1m としている。

本性能評価に使用した Android 端末はすべて同機種である。Android 端末の性能は表 1 のとおりである。

性能評価は実験用に準備した Web ページと一般的な外部 Web サイトを対象とする。表 2 は性能評価に使用した Web ページのページサイズとデータ数を示している。p1 から p20 は Web ページに含まれるデータ数を変化させた Web ページである。Web ページ全体の

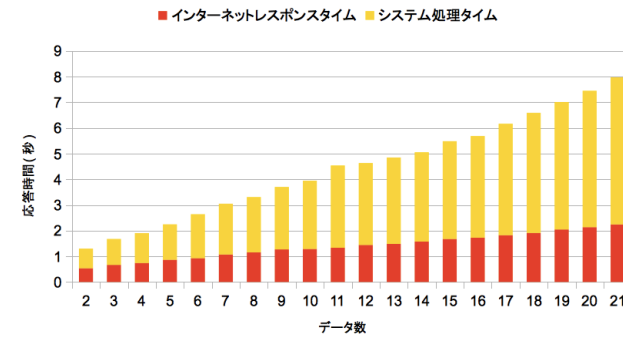


図 8 データ数を変化させた時 (p1...p20) の Web ページが表示されるまでの応答時間

データサイズを 200KB の固定とし、データ数を 2 から 21 まで変化させている。pp1 から pp20 は Web ページサイズを変化させた Web ページである。Web ページに含まれるデータ数を固定し、Web ページ全体のデータサイズを 10KB から 200KB まで変化させている。外部 Web サイトは表 2 中における site1 と site2 であり、Google 日本語トップページ*1 と Yahoo!JAPAN トップページ*2 を対象とした。site1 はページサイズ 410KB、データ数 6 であり、site2 はページサイズ 249KB、データ数 31 となっている。

各評価において、データはすべて 100 回の試行の平均値を取得した。

4.2 結果

図 8 はデータ数を変化させた時の Web ページが表示されるまでの応答時間を表している。横軸にデータ数、縦軸に応答時間を取っており、インターネットレスポンスタイムはゲートウェイ端末がインターネットからデータを取得するのに要した時間、システム処理タイムは端末 S から端末 GW の間のデータの転送に要した時間である。インターネットレスポンスタイムとシステム処理タイムを合計した応答時間が Web ページの表示要求から表示が完了するまでの時間となる。応答時間はデータ数が最小の 2 の場合に 1.2 秒であり、データ数が最大の 21 の場合に 8 秒である。このグラフから応答時間はデータ数に比例していることが

*1 Google Inc. の Web サービストップページ。URL は <http://www.google.com/> である。

*2 ヤフー株式会社運営のポータルサイト Yahoo!JAPAN のトップページ。URL は <http://www.yahoo.co.jp/> である。

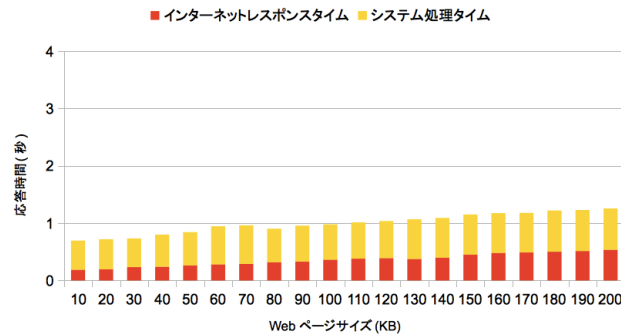


図 9 Web ページサイズを変化させた時 (pp1...pp20) の Web ページが表示されるまでの応答時間

分かる。

図 9 は Web ページサイズを変化させた時の Web ページが表示されるまでの応答時間である。横軸にデータ数、縦軸に応答時間を取っており、インターネットレスポンスタイムはゲートウェイ端末がインターネットからデータを取得するのに要した時間、システム処理タイムは端末 S から端末 GW の間のデータの転送に要した時間である。インターネットレスポンスタイムとシステム処理タイムを合計した応答時間が Web ページの表示要求から表示が完了するまでの時間となる。応答時間は最短で 0.7 秒、最大で 1.2 秒となっており、データサイズが増加しても応答時間の変化は小さいことが分かる。

以上の結果から、提案システムの性能は Web ページ全体のデータサイズよりも、Web ページに含まれるデータ数に強く影響を受けることが分かる。Web ページ全体のデータサイズに対して、端末間の WiFi 通信速度は十分に速いためデータサイズの影響を受けにくくなっている。またデータ数に比例して要求パケット数が増加し、要求を処理するオーバーヘッドが大きくなるため、提案システムは Web ページに含まれるデータ数の影響を強く受けていると考えられる。

図 10 は外部 Web サイトが表示されるまでの応答時間である。データ数 6 の site1 の応答時間は 3.1 秒であり、データ数 31 の site2 の応答時間は 10 秒である。これは図 8 におけるデータ数 6 の応答時間は 2.6 秒であることや、データ数 15 の応答時間 5.4 秒を 2 倍すると 10.8 秒であることから、図 8 の結果は外部 Web サイトにおいても概ね適用できる値で

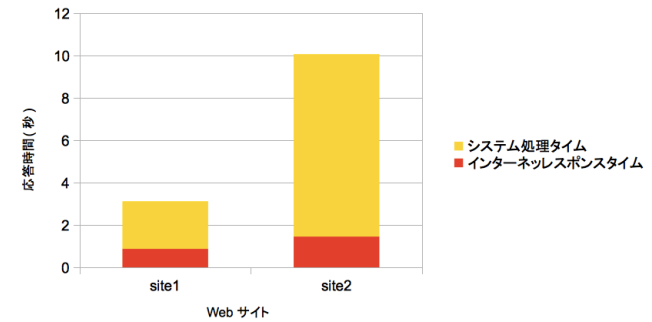


図 10 外部 Web サイトの Web ページが表示されるまでの応答時間

あると考えられる。

性能評価の結果、3 端末で構成される場合の提案システムはデータ数 1 からデータ数 31 までの Web ページを表示するまでの応答時間は 10 秒以下であることがわかった。しかし、Web ページに含まれるデータ数の増加によりオーバーヘッドが大きくなるため、オーバーヘッドを最小限にする改善が必要である。

5. ま と め

本稿では既存のインフラを拡張するための手段として Android 端末を用いたアドホックネットワークの構築に着目し、Android 端末上でアドホックネットワークを構築し Web アクセスを可能とするシステムを提案した。提案システムを実装し、性能を評価したところ、電波障害の少ない良好な室内環境かつ少ない端末数においては、データ数 31 までの Web ページの閲覧に対して 10 秒以下の応答速度を得られることを確認した。また、性能評価の結果から、Web ページ内に含まれるデータ数の増加に伴ないオーバーヘッドが大きくなるという課題を明らかにした。

アドホックネットワークを用いてインターネットを拡張するには IPv6 ネットワーク機能の互換性などの課題を解決しなくてはならないが、本稿は実装対象を Web アクセスとし、第 7 層の機能に実装を限定することで提案システムを構築した。本稿で提案したシステムは Web アクセスを実現するにあたって最低限の機能を有しているが、ルーティングアルゴリズムなど未検討の機能も存在するため、今後の検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 石橋孝一, 妹尾尚一郎, 黒田正博, “インターネット接続による広範囲な Ad Hoc ネットワークの実現に向けた検討,” 電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム 103(202), pp.97-100, July 2003.
- 2) K. Mase, “ボランタリーネットワークと無線マルチホップ LAN (WMLAN),” 電子情報通信学会技術研究報告. CQ, コミュニケーションクオリティ 102(23), pp.1-6, April 2002.
- 3) 小島崇広, 市川祥平, 渡邊晃, “無線アクセスポイントリンク “WAPL” の立上げ方式,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2005) シンポジウム論文集, Vol.2005, No.6, pp.221-224, July 2005.
- 4) D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, “The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4,” RFC4728, February 2007.
- 5) C. Perkins, E. Belding-Royer, and S.Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” RFC3561, July 2003.