

MANET を用いたワンセグ難視聴端末救済手法の性能評価

布 川 雄 大^{†1} 孫 伊 藤 為 華^{†1}
安 本 慶 一^{†1} 実^{†1}

本稿では、ユーザーが無線アドホック通信可能なワンセグ携帯端末を所持していると想定し、近隣の複数携帯端末がアドホックネットワークを形成し、ワンセグ放送の電波受信品質の良い端末から悪い端末に対してデータ中継を行うことで難視聴端末の視聴品質を向上させる方法を提案する。提案手法では、近隣端末間でワンセグ受信品質およびデータ中継状況に関する情報を定期的に交換し、各難視聴端末に対し同一ワンセグチャネルを高品質で受信している端末から当該端末への無線通信帯域制約を満たし、救済される端末数がでるだけ大きくなるようなデューション実験を発見する。現実環境に近い視聴者移動モデルを導入したシミュレーション実験により、移動性・人体とアンテナの位置関係等による救済率に対する影響を精査した。その結果、提案手法により高い救済率を実現されることを確認した。

Performance Evaluation of MANET-based Video Quality Improvement Method for One-Segment Broadcasting Service

YUDAI NUNOKAWA ^{†1}, WEIHUA SUN ^{†1},
KEIICHI YASUMOTO ^{†1} and MINORU ITO^{†1}

In this paper, assuming that users have mobile terminals with ad hoc wireless communication capability, we propose a MANET-based method to improve the 1-segment TV video reception quality of mobile terminals in weak radio wave areas (WRA) by forwarding the high quality video from a terminal in strong radio wave areas (SRA). In our method, neighboring terminals periodically exchange hello messages including information on radio reception quality of one segment channel and existing video forwarding paths. Based on the collected information, each terminal in WRA finds a video forwarding path from the terminal receiving the same one segment channel with good quality so that the number of relieved terminals is maximized and each video forwarding path satisfies the bandwidth constraint. We conducted simulation experiments supposing realistic pedestrian mobility model on several different simulation fields and taking into account the shadowing effects of buildings and human body. As a result, we confirmed that our method allows a high ratio of terminals in WRA to gain better video quality.

1. はじめに

2006 年から地上デジタル放送の携帯端末向けサービス（ワンセグサービス）が提供されている。(社)電子情報技術産業協会の 2008 年度 11 月の推計では、移動電話国内出荷台数(3,493 千台)のうちワンセグの搭載率は 90.5%(3,084 千台)に達した。今やワンセグは、ユーザーの身近な存在となっているが、ビルの陰や屋内、地下街などの場所では、電波が遮られて届かず受信品質の悪くなる地域が発生する問題を抱えている。このような電波の不感地帯（以下、**難視聴エリア**と呼ぶ）の問題に対して、現在の解決策としてはギャップファイアー^{*1}のような電波の受信特性を改善する装置を設置することが考えられるが、難視聴エリアを全てカバーする範囲にそれらを設置し続けることは時間とコストがかかる。インフラに依存せず、携帯端末に搭載されるソフトウェアと端末間ネットワークにより解決できれば、低コストでインフラと同様な効果が得られるメリットがある。

本稿では、ユーザーが無線アドホック通信可能なワンセグ携帯端末を所持していると想定し、近隣の複数携帯端末がアドホックネットワークを形成して、ワンセグ放送の電波受信品質の良い端末から悪い端末に対してデータ中継を行うことで難視聴エリアにいる低受信品質端末の視聴品質を向上させる手法を提案する。

提案手法では、シミュレーション環境や駅構内など、電波を遮断する建物が多く、ワンセグ放送を視聴する歩行者の多い環境を想定し、ユーザーは IEEE802.11 規格に基づいた無線 LAN を標準搭載した携帯端末を持っている仮定とする。このような仮定のもと、提案手法では、携帯端末が、近隣エリアにいる端末群のワンセグ受信状況を定期的に収集・更新することによって、各端末が各チャネルをどのような受信品質で視聴しているのかという情報を交換する。そして、無線通信帯域の制約、リアルタイム性を損なわないための伝送遅延の制約と無線通信帯域幅の制約を満たした上で、救済される端末数が最大となるようなビデオが転送可能な経路を算出する分散アルゴリズムを提案する。また、データ転送を行う際に、転送経路内の端末の無線帯域制約が原因で伝送が不安定になることがある、このことを避けるため、使用帯域の点でボトルネックとなっている携帯端末の転送経路を局所的に組み替えることで使用帯域を節約し、安定したデータ転送を実現する最適化アルゴリズム（**経路組み換え法**）を提案する。

提案手法を評価するためにビルが林立する市街地、電車の駅構内などを想定したシミュレーション実験を行った。実験では、現実環境に近い視聴者移動モデルを導入し、移動性・人体とアンテナの位置関係等による救済率に対する影響を精査した。実験の結果、マンハッタンモデル、JR 大阪駅モデルでは難視聴エリアのノードにおいて、ビデオ品質が改善する時間の割合が 2 ホップの転送で 70%以上に達し、広場モデルでは約 60%に達することを確認した。

2. 関連研究

携帯端末向けワンセグ放送において、地下街のような難視聴エリアの救済方法として、地上で受信した電波を SCM 方式で RoF^{*1}伝送し、地下に再輻射する「ワンセグギャップファイ

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

*1 ギャップファイアー

電波受信の困難な場所でも受信できるように設置されている補助的な無線設備

*1 RoF(radio-on-fiber)³⁾

光ファイバ無線のことで、電波を光ファイバに閉じ込めて転送することで、「電波型式の保存」と「対外電波の電磁的干渉転送」を特徴とする。

ラーシステム」が既に実用化されている²⁾。RoFの普及には、光ファイバの確保、電波法制上のRoFシステムの位置付けや技術基準適合証明取得の枠組み構築などの課題がある。³⁾ またギャップファイラの設置においても電波利用料がかかるなどの問題がある。

アドホックネットワークを利用した通信品質改善の研究として、Luoらは第三世代携帯電話ネットワーク(1xEV-DO⁴⁾)のセル全体の有効な帯域を増やすために、IEEE802.11bベースのアドホックネットワークを統合する手法を提案している⁵⁾。この手法では、通信品質の悪い端末へ向けた通信品質の向上に中継させている。しかし、この手法はセルラ通信の品質向上を目的としているためワンセグ受信品質の向上にそのまま使用することはできない。アドホックネットワークにおけるデータストリーミングの経路探索に関する研究として、Prapatsaranonらは、アドホックネットワーク上のビデオストリーミングにおいてプリエンブティフテクニク⁶⁾を用いてAODVを複数経路に拡張したプロトコルを提案している⁷⁾。しかし、この手法はリアクティブ型であること、転送経路が長くまた複数になることから遅延が大きくなるという問題点があり、ワンセグ放送のリアルタイム視聴に適用するには適さない。

アドホックネットワーク上のビデオ転送に関して、Chowらは、有線ネットワークで利用される複数ノードから単一ノードへのビデオ伝送の概念とアドホックネットワークの特性の両方を考慮して設計したマルチパス転送法を提案している⁸⁾。この研究では、送信端末から送信された動画データを、受信端末において複数記述符号化(Multi Description Coding)と複数送信点からの複数ストリーム転送(Multipoint-to-Point)を併用することで復元することによりビデオの再生品質を高めている。しかし、データ転送の複雑さおよび複数記述符号化の処理遅延の点で、本稿の目的実現のために適用するのは適さない。

著者らは文献1)において、難視聴エリアにおいて低受信品質の端末を救済する手法を提案している。本稿では、文献1)の対象を拡張し、視聴者の移動性や人体とアンテナの位置等を考慮したより現実に近いワンセグ受信状況モデルより現実に近いユーザの行動モデルを想定し、提案アルゴリズムの性能評価を行っている。

3. ワンセグ視聴品質向上手法の問題設定

3.1 屋内外におけるワンセグ受信品質に関する予備実験

電波の受信強度は屋内外を問わず、局所的に受信品質の変化が起こることが分かっており、周波数が高くなるほど人体によって減衰されると言われている⁹⁾。ワンセグ放送の周波数帯域は470～770MHzのため、理論上は無線LAN(2.4GHz)程には人体による影響は少ない。そのことがワンセグの視聴品質においても該当することを確かめるため、奈良先端科学技術大学院大学の校舎屋内および屋外においてワンセグの受信品質を調査した。その結果を図1に示す。図は真上が北であり、大学の南西の位置に調査したTV局の電波塔が存在する。調査は学内の5か所で行い、3つのTV局のチャンネルの受信品質を体の向きを8方向に変えて調べた。受信レベルの測定器は人体の前に存在する。図中の方位記号に記載された数字は、その方向に体を向けた場合の受信レベル(0～6で大きいほど受信品質が良く、0の時に映像が映らない)であり、括弧内にA局、B局、C局の順で記載した。また、ハイフン(―)で区切られた結果は、その数字付近で受信レベルが変動していたことを表す。図1より、6段階の受信レベルの結果は、その数字付近で受信レベルが変動していたことが分かる。これらの結果より、アンテナの位置により電波の受信強度は変化し、ワンセグの受信品質に影響を与える事が分かった。

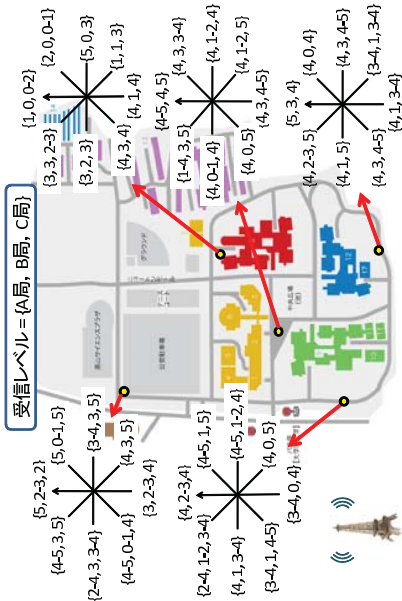


図1 各局 (A, B, C) の受信強度

3.2 想定環境

想定環境は、ショッピングセンターや駅構内など、電波を遮断する建物が多く、かつ、ワンセグ放送を視聴する歩行者が多い環境とする。例えば、都市部の駅周辺などがそれぞれにあてはまる。また、電波受信品質が悪く、ワンセグ放送が視聴不可能な地理的領域を難視聴エリアと呼ぶ。加えて、放送波は電波塔によって8方向のうちのある方向から送信されているとする。

(1) ノードの機能

ノードは歩行者が持つワンセグ放送視聴可能な携帯端末とする。ノードは以下の5つの機能を持つと仮定する。

- (a) ワンセグのチャンネルを一つ選んで受信し映像を再生する機能
 - (b) 受信中のチャンネルの映像を、あるビデオコーデックに基づいたビデオデータに実時間変換し、IEEE802.11に基づく無線通信により周辺ノードにブロードキャスト配信する機能
 - (c) ブロードキャストされたビデオデータを受信する機能
 - (d) 受信したビデオデータを実時間再生する機能
 - (e) 受信したビデオデータを実時間で再ブロードキャスト配信する機能
- (2) ネットワークモデル
- 携帯端末の無線通信はIEEE802.11の規格に基づいており、無線通信範囲は端末位置を中心とする半径 r の円内とする。また、同一無線範囲内での通信可能帯域幅は BW とする。
- (3) ワンセグのチャンネル

ワンセグのチャンネル(映像のソース)は k 個存在し、チャンネルの集合を $CH = \{ch_1, ch_2, \dots, ch_k, \text{nothing}\}$ とする。各ノードは、一つのチャンネル $ch \in CH$ を選んで、視聴を行う。ユーザ u が選択しているチャンネルを $u.ch$ で表す。ここで、 $u.ch = \text{nothing}$ の場合、ユーザ u はどのチャンネルも視聴したくないものとする。

(4) ワンセグの受信品質

ユーザ端末 u が視聴しているチャンネル ch_i の受信品質を表す以下の関数 Deg が与えら

れると仮定する。

$Deg(u, ch_i) = \text{AnalogueValue}$, where $0 \leq \text{AnalogueValue} \leq 1$ (1)
 $Deg(u, ch_i)$ は、ユーザ u が視聴するチャンネル ch_i とユーザの位置および向きに対して、電波受信強度を示すアナログ値 AnalogueValue を返す関数である。 AnalogueValue が 1 の場合、そのチャンネルの映像を最高の品質で受信できていることを意味する。

(5) ユーザの行動モデル

ノードはランダムウェイポイントに基づいて移動するとする。ただし、静止中の間だけワンスセグを視聴するものとし、移動中はビデオの中継のみ行うことができる。移動速度は、ノードが歩行者が所有するモバイル端末であることから、 $0 \sim 4km/h$ とする。ノード u は自身の電波状況が悪い時には、ある程度の視聴品質の向上が見込める同じチャンネルを視聴している最も近いノードを選択しビデオの配信を依頼する。この時、配信を依頼する条件となる品質向上幅の最低値を $THDeg$ とする。また、各ノードが他のノードの品質向上のため転送するビデオのビットレートの合計は制限され、その閾値を $THBw$ とする。ワンスセグ映像の受信品質 Deg の時のビデオの転送ビットレートを $bw(Deg)$ とする。

3.3 問題設定

ユーザのモバイル端末の集合を $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ とする。モバイル端末間の辺の集合を $E = \{(u, v) \mid u, v \in U, \text{distance}(u, v) \leq r\}$ とする。ノード u の隣接ノードの集合を $N(u) = \{v \mid (u, v) \in E\}$ とする。

グラフ $G = (U, E)$ が与えられた時、各ユーザが要求するデータを他端末が協力して転送するための最適な経路を求めることが問題である。全ユーザ端末 U のうち、救済されるべき端末の集合を $U' \subset U$ とする。また、救済元となる、ワンスセグ映像を高品質で受信しているソースノードの集合を $S \subset U$ 、救済するため映像データの中継を行うノードの集合を $F \subset U$ とする。 S のノードから、 F のノードを幾つか経由して、 U のノードに至る E の辺のリストを救済パスと呼び、ノード u への救済パスを $\langle u_{k_1}, \dots, u_{k_m}, u \rangle$ で表す。ここで、 $u_{k_1} \in S, u_{k_2}, \dots, u_{k_m} \in F$ である。全救済パスの集合を $Path$ で表す。この時、最適な救済パスの集合を導出するための制約条件を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} \forall u \in U', \forall (u_{k_1}, \dots, u_{k_m}, u) &\in Path, & (2) \\ (u_{k_1}, u_{k_2}), \dots, (u_{k_{m-1}}, u_{k_m}), (u_{k_m}, u) &\in E & (3) \\ \forall (u_{k_1}, \dots, u_{k_m}, u) &\in Path, \text{Deg}(u_{k_1}, u_{k_1}.ch) - \text{Deg}(u, u.ch) \geq THDeg & (4) \\ \forall u \in U, \text{data}(u) &\leq BW & (5) \\ \forall u \in U, \text{send}(u) &\leq THBw \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} \text{data}(u) &= \text{send}(u) + \text{recv}(u) \\ \text{send}(u) &= \sum_{(u, \dots) \in Path} bw(\text{Deg}(u, u.ch)) + \sum_{(v, \dots, u, \dots) \in Path} bw(\text{Deg}(v, v.ch)) \\ \text{recv}(u) &= \sum_{v \in N(u)} \text{send}(v) \end{aligned}$$

式 (2) は、より高い品質のビデオを受信する u への経路が存在するための条件を、式 (3) は被救済ノード u と救済元ノードのワンスセグ受信品質の差が示す品質向上幅が $THDeg$ 以上であることを意味する。また、式 (4) は、 u の送信するデータ量 $\text{send}(u)$ と u の受信する

データ量 $\text{recv}(u)$ の総和が無線通信帯域幅 BW 以下でなければならないことを意味する。式 (5) は、受信品質向上のために各ノードがデータ転送を行う際のデータ転送容量 (帯域) の制限を表す。

これらの制約をもとに、救済されるべきユーザ端末の集合 U' の要素数を最大化する次の目的関数を設定する。

$$\text{maximize } |U'| \quad \text{subject to constraints (2) - (5)} \quad (6)$$

4. 提案手法

4.1 基本方針

3.3 節で定義した問題は、組み合わせ最適化問題であり、分散環境で最適解を短時間に算出するのは難しい。そのため、本章でヒューリスティックな分散アルゴリズムを提案する。基本方針は、ワンスセグ受信品質の高いノードから受信品質の低いノードにビデオ映像を転送することで、高受信品質ノードの割合を増やすことである。そのためには、高い品質でワンスセグを受信しているノードを知る方法とそのノードまでの経路探索方法が必要である。以下ではこれらの方法を近隣情報フェーズ、経路決定フェーズおよび経路組み換えフェーズからなる携帯端末の振る舞いとして記述する。

- 近隣情報収集フェーズ：トポロジ形成のために隣接ノードとワンスセグ視聴に関する情報の交換をする
- 経路決定フェーズ：プロアクティブに得たトポロジ情報から救済パスを決定する
- 経路組み換えフェーズ：救済パスを発見出来ない場合や救済パスは存在するが隣接ノードの使用帯域の制約により救済を受けられないだけの帯域の空きがない場合に適用する

4.2 端末の振る舞い

(1) 近隣情報収集フェーズ

各ノードは、自身の無線範囲に存在するノードに対し、次に示す情報を含む HELLO メッセージを決められた周期 (例えば 60 秒) でブロードキャストする。ただし、自ノード (u) の視聴チャンネル $u.ch$ が変化した場合、直ちに HELLO メッセージをブロードキャストするものとする。

- ノードの ID：IP アドレスのような一意な値
- 中継ノードの ID：宛先ノードに到達するまでに経由するノードの ID
- 視聴チャンネル：HELLO メッセージ送信時に視ているワンスセグのチャンネル番号
- ワンスセグチャンネル受信品質 Deg ：0 から 1 のアナログ値をとり、1 に近いほど電波の受信品質が高い
- ビデオ転送状況 (データ転送量、転送先 ID、転送中チャンネル)：ノードの ID から低受信品質ノードへの転送状況
- TTL：HELLO メッセージを転送した後の有効ホップ数。転送される度に 1 ずつ減じられ、0 になった時点で再転送されなくなる。

HELLO メッセージは無線通信範囲にいる隣接ノードに受信され、TTL 値で設定したホップ数だけマルチホップで更に遠くのノードへ伝達される。一方、ノード u は隣接ノード v からの HELLO メッセージを受信すると、受信した情報を HELLO テーブルと呼ぶ経路表に追加する。例えば、TTL が 2 の場合には表 1 のような経路表となる。表 1 のエントリは、チャンネル 2 を 0.8 の受信強度で受信しているノード v_1 がノード x を介して、 u の 2 ホップ先に存在している事を表している。また、 v_1 は既にビットレートが 416kbps の

チャンネル 2 のビデオをノード w に向け転送中であることを表している。

表 1 ノード u の HELLO テーブルの例

ソースノード ID	中継ノード ID	視聴 ch	受信状況 (cost, id, ch)	転送状況 (cost, id, ch)
v_1	x	2	0.8	416k, w , 2
v_2	y	3	0.4	—
v_3	—	1	0.2	—
v_4	—	3	0.7	416k, z , 3
...	...	...	...	...

(2) 経路決定フェーズ

このフェーズでは、前述のフェーズで得られた近隣のトポロジ情報から転送可能な経路の探索を行う。ノード u は、難視聴エリアに進入することで電波の受信品質が悪化し一時的にワンセグの視聴が不可能になるが、プロアクティブに得たトポロジ情報 (HELLO テーブルの内容) から視聴チャンネル $u.ch$ と同じチャンネルを視聴し、3.3 節の制約式 (2)-(5) を満たすようなあるノードに対して接続要求メッセージを送信することで映像の配信を求める。経路探索の方法は、転送ホップ数の小さいノードをグリーディに選択し、要求が拒否された場合、逐次 HELLO テーブルを参照してグリーディに選択した別のノードに転送要求メッセージを送信する。これらを繰り返した結果、要求が受理されれば探索成功となり、そうでない場合、探索失敗となる。

図 2 は、HELLO メッセージの TTL が 2、全ノードが 3.3 節の式 (4)、(5) の帯域制約を満たしているという想定の下で、電波受信品質の悪い端末 d が、電波受信品質の良い端末 a から端末 b を中継ノードとして 2 ホップで救済されている様子を示している。この場合、端末 d を救済できる端末は a のみであり、端末 f は視聴チャンネルは同じであるが、電波受信品質が低いため d の救済が出来ない。残りの端末については、視聴チャンネル自体が異なる。また、端末 f は a からのホップ数が 3 となるため救済されない。

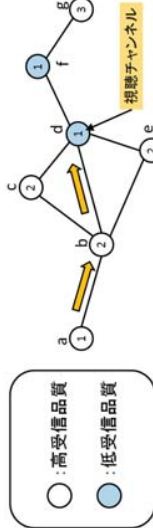


図 2 端末 d のトポロジ情報とデータ転送による救済

(3) 経路組み換えフェーズ

このフェーズは、帯域制約の影響により救済パスが発見できなかった場合に、近隣ノードの転送経路を組み替えことで転送可能な経路の探索を行う。

ノード u は経路決定フェーズで経路探索に失敗した場合、次に取るフェーズとして隣接ノード群 $N(u)$ に経路の組み換えを依頼する。隣接ノード群 $N(u)$ はノード u の代わりに救済パスを計算し、既に確立されている接続の中から変更の出来るものを選択し、経路を組み替える。このフェーズにおいても経路が決定しなければ、探索失敗となる。

図 3、4 のような、ノード u_d の無線範囲内に存在する低受信品質ノード u_i の救済パスを

探索する問題を例に組み換えアルゴリズムを説明する。図 3 では、 u_i は u_d を経由して u_b から救済されることが理想であるが、今 u_d は帯域制約のためこれ以上転送することは出来ないため、 u_i は経路決定フェーズにおいて救済パスを見つけることが出来ない。この際に u_i は経路組み換えフェーズへと移り、組み換え要求メッセージ (req1) を隣接ノード群にブロードキャストする。ここで各隣接ノードは、 u_i を 1 ホップにより直接救済できるか、中継ノードとして 2 ホップにより救済できるかを判断し、救済できる場合には、自身が u_i の救済パスを計算するノードに名乗り出るため、ack を u_i に返信する。今ノード u_d が ack を u_i に返信したとする。ack を受信したノード u_i は req2 を u_d に送信し、組み換えの計算をするノードが決定する。

次に、 u_d は救済パスのリストから u_i が救済を受けられるだけの帯域を確保できる経路を計算し、その経路に関わるノード u_e にユニキャストで組み換え要求メッセージ req3 を送信する。 u_e は経路の組み換えが可能ならば u_d に ack を返し、不可能な場合は、 u_d は次の候補ノードに要求メッセージを送信する。経路の組み換えが終了すると、図 4 のように u_d は u_i に組み換えが完了したことを知らせるメッセージを送信する。このように局所的な経路の組み換えを繰り返すことで、新たな救済パスを収容する。

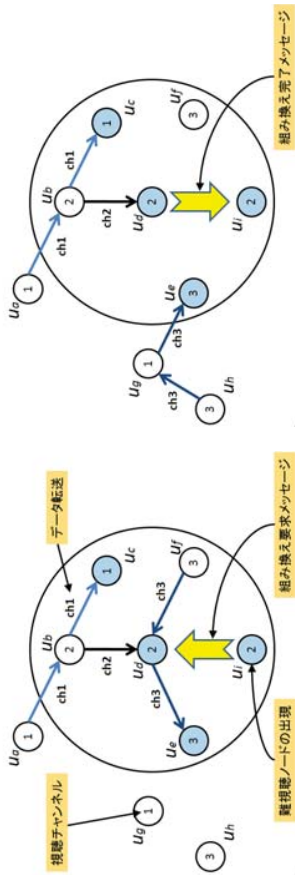


図 3 経路組み換え前

図 4 経路組み換え後

5. 実験

提案手法により、各端末での受信品質悪化時間がどの程度の割合で救済されるかを評価するため、3 章で定義した環境を想定したシミュレーションを行った。

5.1 シミュレーション実験の設定

ノードの移動はランダムウェイポイントに基づいた新たな移動モデル (以下、ワンセグ視聴型モデルと呼ぶ) を定義し用いた。本移動モデルは、各ノードが 30 秒毎に「移動」と「静止」の状態を均等確率で遷移し、それぞれの状態にいる時間の割合が同じになるようにした。すなわち、ランダムウェイポイントで目的地に進行中の状態は「移動」であり、移動開始後 30 秒後に「静止」か「移動」のどちらかの状態に遷移する。この際、静止状態に遷移した場合には移動を中断し、最大 120 秒間静止する。静止状態では 30 秒ごとに移動が静止のどちらかに状態遷移する。移動状態に遷移した場合、即座に移動を再開する。なお、目的地に到着した際のポーズタイムは 0 秒とし、即座に次の目的地をランダムに決めて移動を開始する。

表 2 シミュレーション実験の設定

	広場	マンハッタン	JR 大阪駅
ノード数	500	500	500
フィールド	1000x1000	1000x1000	500x400
端末通信範囲	150	150	150
衝突検知	CSMA/CA		
減衰モデル	ライス-仲上分布		
ワンセグ 1 チャンネルの転送データレート	416kbps		
チャンネル数	3		
ホップ数 (TTL)	1, 2		

3 章で述べたように歩行中ノードはワンセグ放送を視聴はしないが、他ノードのためにデータの中継はできる。また、視聴中ノードは止まってワンセグ放送を視聴しており、データ中継も可能である。

表 2 に示すように、想定環境は障害物のない広場モデル、障害物のある都市環境 (マンハッタンモデル) と JR 大阪駅周辺モデルの 3 種類を用意した。IEEE802.11g を用いることとし、通信範囲は 150m、同一無線範囲内での利用可能帯域幅は 5Mbps とした。また、MAC 層で CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) が使用でき、キャリア検出や衝突回避が自動的に行われるとした。また、マンハッタンモデルや JR 大阪駅モデルなどは電波の遮蔽物が存在することを想定しているため、フェージング変動が起こることが予想される。このことから減衰モデルとしてライス-仲上分布を用いることにした¹⁰⁾。

ワンセグ映像転送のビットレートはワンセグ放送での実際の数値に基づいて 416kbps とし、本実験では、受信強度の違いによるビットレートの変化は考慮しないものとした。視聴チャンネルは 3 種類とし、各ノードはランダムで 1 チャンネル選択する。また、救済パスが 1 ホップと 2 ホップの場合についてシミュレーションを行った。

5.2 実験方法

3 種類の想定環境モデルについてモビリティが静止の場合とワンセグ視聴型モデルの場合に分けて実験した。また、シミュレーション時間は 20 分とした。

図 5～7 に各環境モデルにおけるシミュレーションワールドを示す。難視聴エリアは各環境モデルによって位置が異なる。電波塔からの放送波の方向を考慮して、広場モデルは局所的に複数の難視聴エリアを設定し、マンハッタンモデルでは中央の位置に、そして JR 大阪駅周辺では、駅ホームのビルの陰となる場所と、駅と阪神百貨店に囲まれた道路に設定した。以下に救済率を定義する。実験ではこの定義の下に行った。

● 救済率

難視聴エリア全体における救済率 Ra は、電波受信品質の悪い端末のうち救済された端末の集合を U' とし、各端末 $u_i \in U'$ の電波受信品質が悪かった時間 Tb_i のうち、救済された時間を Tr_i とした時、式 (7) で定義する。

$$Ra = \sum_{u_i \in U'} \frac{Tr_i}{Tb_i} \times 100 \quad (7)$$

ここで、救済されたかどうかの判断は、受信品質の悪いノードが受信品質の良いノードからデータ転送を受け始めてから、 t 秒以上連続で視聴することができた場合で決める。実験では $t = 5$ とした。

5.3 実験結果

(1) 各環境モデルの結果

広場モデル、マンハッタンモデル、JR 大阪駅周辺モデルにおいて救済パスが 2 ホップの時のシミュレーション中のスナップショットを図 5～7 に示す。図中のノード間を結ぶ直線はビデオ中継による救済を表している。図の白色のエリアは受信品質が良く、青色のエリアは受信品質が悪いことを表している。白いエリアにいるノードから青色エリアのノードへの転送が行われており、2 ホップ以内で救済されていることが見てとれる。

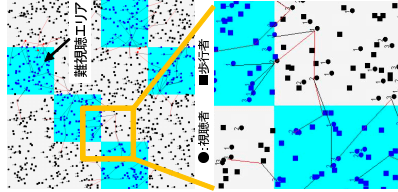


図 5 広場モデル

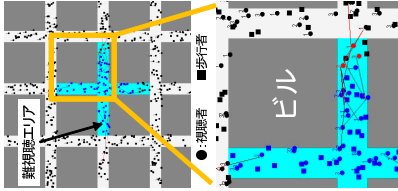


図 6 マンハッタンモデル

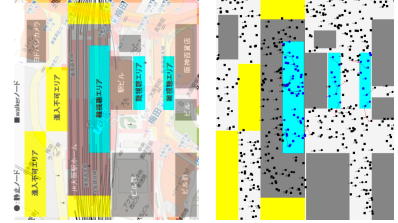


図 7 JR 大阪駅モデル

(2) シミュレーション結果の比較

表 3, 4, 5 にシミュレーション結果を示す。表中の項目は各環境モデルでの難視聴エリア滞在時間毎の端末数とその時間における平均救済率であり、各項目についてモビリティが静止の場合とワンセグ視聴型モデル (表中では「移動 khop」と表記) を適用した場合をホップ数ごとに表している。表における「難視聴エリア滞在時間 (sec)」とは、シミュレーション時間 20 分のうちで受信品質が悪かった時間の合計値のことで、300 秒間隔で 900 秒までの結果を示した。表より、マンハッタンモデルと JR 大阪駅モデルでは救済パスが 2 ホップで約 70% 以上の救済率を達成し、広場モデルでは約 60% の救済率を達成できている。

いずれの環境モデルにおいても、ホップ数を増やすにつれ救済率が向上することが分かる。また、モビリティが静止の場合はサンブル数、救済率は安定しているが、ワンセグ視聴型モデルの場合はサンブル数にばらつきが見られる。この原因は、静止の場合は、20 分間移動をしないためノード数の変化は小さいが、ワンセグ視聴型モデルの場合は、ノードが頻繁に移動することで救済パスの接続と切断が繰り返され、難視聴エリアに滞在するためである。

表 3, 4, 5 より 3 種類のモデルの救済率を比較すると、ワンセグ視聴型モデルの方が静止の時よりも救済率が高い。これは、ワンセグ視聴型モデルでは、ノードが頻繁に移動することから新たな救済ノードや中継ノードが難視聴端末の付近に次々と現れるためと考えられる。

次に図 8, 9 に救済パスが 2 ホップの場合のワンセグ視聴型モデルにおける全ノードの活

表 3 広場モデルにおけるシミュレーション結果

	端末数					平均救済率				
	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	
難視聴エリア滞在時間 (sec)	3	54	72	11.1	9.0	13.9				
静止 1hop	0	56	96	-	15.7	11.6				
静止 2hop	214	114	22	12.8	11.3	8.5				
移動 1hop	210	136	25	57.4	64.2	72.0				
移動 2hop										

表 4 マンハッタンモデルにおけるシミュレーション結果

	端末数					平均救済率				
	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	
難視聴エリア滞在時間 (sec)	0	37	43	-	7.3	6.1				
静止 1hop	0	23	43	-	29.8	36.8				
静止 2hop	96	77	32	19.6	11.9	10.7				
移動 1hop	72	93	34	70.3	72.9	77.9				
移動 2hop										

表 5 JR 大阪駅モデルにおけるシミュレーション結果

	端末数					平均救済率				
	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	0-300	300-600	600-900	
難視聴エリア滞在時間 (sec)	0	31	29	-	22.4	18.4				
静止 1hop	0	37	38	-	38.9	41.4				
静止 2hop	154	51	17	26.2	19.1	20.2				
移動 1hop	157	63	13	66.1	75.9	82.7				
移動 2hop										

動の様子を示す。図の横軸は経過時間であり、縦軸はノード ID である。また、図 8 の青い線は難視聴状態でワンセグが視聴できていない状態を表し、図 9 の赤い線は難視聴状態であるが他者からの救済によりワンセグを視聴できている状態を表している。

最後に、今回の実験では経路の組み換えが起こることはなかった。これはデータ転送の対象とするチャネル数が 3 種類であるため、帯域制約を満たす機会がほとんどであったためであると考えられる。

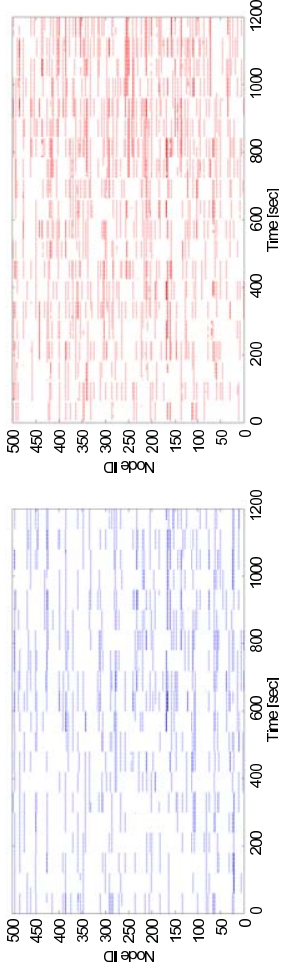


図 8 マンハッタンモデルにおける全ノードの難視聴状況

6. おわりに

本稿では、ワンセグ放送の電波受信品質の良い端末から悪い端末に対して無線マルチホッ

プ通信によりデータ中継を行うことで視聴品質を向上させ、難視聴エリアの端末を救済する方法を提案した。そして、提案手法を設計し、独自に作成したシミュレータを用いて評価実験を行った。その結果、マンハッタンモデルと JR 大阪駅モデルでは救済パスが 2 ホップで約 70%以上の救済率を達成し、広場モデルでは約 60%の救済率を達成できた。

今後の課題として、より現実に沿った歩行者の移動モデルを用いた評価実験や、実験を用いた評価実験を実施し、提案手法の有効性を確かめたい。

参 考 文 献

- 1) 布川雄大, 花野博司, 孫為華, 安本慶一, 伊藤実 : “MANET による携帯端末でのワンセグ視聴品質向上手法,” 情報処理学会研究報告 2009 - DPS - 138 Vol.2009 No.20 pp.325 - 330 (2009).
- 2) 吉田征彦, 田丸修実, 中原俊二, 大崎公士, 土田健一, 高田政幸, 小林和正, 春日博志, 丸山祐司, 那須嘉彦 : “地下街等電波遮蔽空間における地上デジタル放送信号の再輻射実験,” 映像学資 Vol.60 No.5 pp.686 - 689 (2006).
- 3) 久利敏明, 堀内幸夫, 中戸川剛, 塚本勝俊 : “光・無線融合技術をベースとする通信・放送システム,” 電子情報通信学会論文誌 C Vol.J91-C No.1 pp.11 - 27 (2008).
- 4) 3GPP2, C.S0024 : “cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification.”
- 5) H. Luo, R. Ramjee, P. Sinha, L. Li and S. LU : “UCAN : A Unified Cellular and Ad-Hoc Network Architecture,” *Prof. of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(Mobicom 2003)*, pp.353-367 (2003).
- 6) T. Goff, N. B. Abu-Ghazaleh, D. S. Phatak, R. Kahvecioglu : “Preemptive Routing in Ad Hoc Networks,” *Prof. of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(Mobicom 2001)*, pp.43 - 52 (2001).
- 7) P. Prapatsaranon, K. Rojviboonchai, H. Aida : “Multi-path Routing Protocol with Preemptive Technique for Video Streaming over Ad Hoc Networks,” *IEICE Technical Report*, 105(628), pp.317 - 322 (2006-2).
- 8) C. O. Chow, and H. Ishii : “A Novel Approach to Supporting Multipoint-to-Point Video Transmission over Wireless Ad Hoc Networks,” *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E90-B, No.8, pp.2046 - 2055 (2007-8)
- 9) 岩波保則 : “ゾーン検出方式及び周波数の違いによる人体の電波伝搬特性への影響に関する追加技術試験 報告書”, 総務省東海総合通信局 人の動態把握等のためのユビキタスネットワークに関する調査検討会 報告書 (2007)
- 10) M. Killat, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Hartenstein, C. Rössei, P. Vortish, S. Assemacher and F. Busch : “Enabling Efficient and Accurate Large-Scale Simulations of VANETs for Vehicular Traffic Management,” *Proc. of the 4th ACM Intl workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET2007)*, pp. 29-38, (2007)