

モバイルオーバレイマルチキャスト実装のための マルチエージェントシミュレーションによる所要スペック検証

吉野 信[†] 久保 広行[†] 新熊 亮一^{†*} 高橋 達郎[†]

[†] 京都大学大学院 情報学研究科 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

* 米国ラトガース大学 WINLAB 客員研究員

E-mail: {yoshino, kubo}@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma, ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし モバイルオーバレイマルチキャストを対象に、マルチエージェントシステムを用いた検証を行う。オーバレイマルチキャストにおいては、ユーザによるストリーム中継が必須である一方で、モバイル端末を用いたユーザが増加すると考えられる。モバイル端末は固定端末に比べユーザの多様性が高く、中継協力の条件や積極性がユーザ毎に異なることを考慮する必要があるが、従来研究ではほとんど考えられていない。そこで、ユーザ端末の状況やサービス品質に応じた行動の調査を行った上で、ユーザ行動のモデル化を行い、シミュレーションによる解析を通してオーバレイネットワークを構成するために必要な情報、問題点とそれらの解決策を明らかにする。

キーワード モバイル、オーバレイマルチキャスト、ユーザモデル、マルチエージェントシステム

Verification of Required Spec for Mobile Overlay Multicast by Multiagent Simulation

Makoto YOSHINO[†], Hiroyuki KUBO[†], Ryoichi SHINKUMA^{†*}, and Tatsuro TAKAHASHI[†]

[†] Graduate School of Informatics, Kyoto University,
Yoshidahonmachi, Sakyou-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

* Visiting Scholar at WINLAB, Rutgers University, USA

E-mail: {yoshino, kubo}@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma, ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

Abstract This study addresses stream relay by users in wireless overlay multicast. User's contribution, stream relay, is indispensable in overlay multicast, however user's behavior will be very much diversified reflecting various conditions with bandwidth and battery amount of each user. We investigate user's behaviors in various conditions by questionnaires and experiments, then model them. Wireless overlay multicast simulations with embedded user behavior model reveals better overlay topology and key factors for constructing networks.

Key words mobile, overlay multicast, user model, multi agent system

1. はじめに

インターネット接続環境における高速化や、ユーザ端末の高性能化に伴って、大規模なマルチメディアアプリケーションへの需要が高まってきた。特に、数千・数万人規模での動画配信や、多人数が同時参加可能なゲームが商用的にも成功している。このようなアプリケーションでは、コンテンツ配信元端末から複数の配信先端末にストリーム転送を行う必要があるため、従来のユニキャスト通信ではネットワークリソースを膨大に消費する。そこで、オーバレイマルチキャストと呼ばれる、アプリケーションレイヤにおいて多人数へのマルチキャスト通信を実現する手法が提案・実用されている[1][2]。オーバレイマルチ

キャストは、ユーザ端末間でストリームを中継することでマルチキャスト通信を提供するものであるため、従来は高速回線に有線接続され、電源供給された固定端末ユーザの参加が想定されていた。しかし、WiMAX や LTE といった広帯域・高速な無線通信環境の整備が進むに従って、今後モバイル端末を用いるユーザが大きく増加する可能性が高まってきた[3]。

ここで、構成ユーザの大多数がモバイル端末を使用するオーバレイネットワーク(図1)においても、ユーザによるストリーム中継が必須である。しかし、モバイル端末は固定端末に比べ、バッテリー、移動、利用形態の点でユーザの多様性ははるかに高く、中継に対する協力の条件や積極性はユーザ毎に異なることを考慮する必要がある。従来のオーバレイネットワークの構成

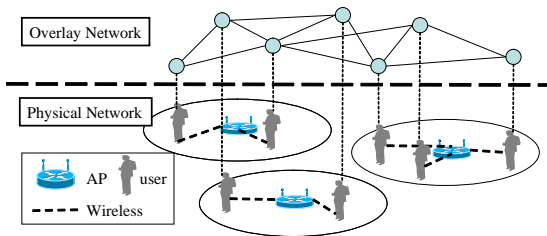


図1 モバイル端末主体のオーバーレイネットワーク

手法は、このような考慮がほとんどされていない。そこで、本稿ではユーザが使用している端末の状況やサービス品質に応じて、どのような行動をとるか調査を行ってユーザのモデル化を行い、そのモデルを用いてシミュレーションによる解析を行う。そして、ユーザ端末のバッテリー残量や位置の情報、及びユーザの知人に関する情報をネットワークの構成に活用することを提案し、解析結果からその有効性を検証する。さらに、どのような問題や解決策が求められているかを合わせて明らかにする。

2. オーバレイマルチキャスト

マルチキャスト通信は、同一のコンテンツを配信元端末から複数の配信先端末に送る際に、ユニキャスト通信に比べてネットワークリソースの利用効率が高い通信方式である。本方式を実現する技術としてIPマルチキャストがあるが、マルチキャスト通信を行う全てのルータに対してルーティングプロトコルやグループ管理プロトコル機能を導入する必要がある。そこで、オーバーレイ（アプリケーション）マルチキャストが提案されている[1][2]。これは、マルチキャスト機能をネットワークレイヤではなく、アプリケーションレイヤにて実現し、ルータに対して新たな機能を追加する必要がない。つまり、配信先端末間で論理的リンク（オーバーレイ上のリンク）を形成し、ユニキャスト通信によってストリーム転送を行う。なお、プロキシノードを配置しない場合をアプリケーションレイヤマルチキャスト、配置する場合をオーバーレイマルチキャストと区別している場合もあるが、明確な定義はされておらず、本稿ではこれらをまとめてオーバーレイマルチキャストと呼ぶ。

オーバーレイマルチキャストでは、先述したオーバーレイ上のリンクの集合体である、オーバーレイネットワークの構成手法が大きな研究テーマとなっている。オーバーレイネットワークの構成手法は主にMesh型とTree型に分類される。Mesh型は、端末が複数のリンクでつながり、あるリンクが何らかの理由で切断されても別のリンクを用いてストリーム転送が可能である反面、各端末が持つネットワーク構成のための情報量が膨大となる[1]。Tree型は、ストリームの経路が事前に決定され、各端末が持つネットワーク構成のための情報量が小さくなる反面、リンクが切断された場合下流へのストリーム転送が不可能となる[2]。一方で、オーバーレイマルチキャストはユーザに中継という形での協力を求めるため、P2Pコンテンツ共有やアドホックネットワークと同様、フリーライダーと呼ばれる利己的なユーザの存在が問題となり、ユーザの協力に応じてインセンティブを与えるメカニズムが提案されている[4]。さらには、知人関係

を用いたネットワーク構成手法[5]なども考えられている。しかし、様々なユーザ端末やユーザの様々な行動がネットワークに及ぼす影響や、またそれに対する望ましいネットワーク構成手法について、踏み込んだ議論を行っているものはない。

3. マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステム（シミュレーション）とは、従来の通信シミュレーションのような、同じ特徴を持った複数のノードの相互作用によるシミュレーションとは異なり、様々な個性を持ったユーザをエージェントとしてモデル化することにより、実際に起こりうる状況を再現することを目的とする[6]。マルチエージェントシミュレーションの手順を以下に示す。

(1) ユーザ（行動）のモデル化・取り扱う条件の決定

(2) シミュレーションのモデル化・シミュレーション

(1)に関しては、本稿ではオーバーレイネットワーク上でのストリーム中継機能を備えたマルチキャストストリーミングを想定する。ユーザは、全ユーザ共モバイル端末を所持し、移動するユーザと静止しているユーザが混在していると看做する。また、移動するユーザを含めて多くのユーザが電源を利用できないとする。従って、本シミュレーションではバッテリー残量や動画の品質といったユーザ端末の状態や、中継相手が知人であるかどうかに対してユーザが中継するかどうかの意思をモデル化する。マルチエージェントシミュレーションでは、このユーザのモデル化が非常に重要である。そして(2)より中継ユーザ数やサービス利用時間、動画品質といった指標が、実際のネットワークでの現象として表される。なお、本稿ではユーザ端末のバッテリー残量や位置の情報、及びユーザの知人に関する情報をネットワークの構成に活用することを提案し、その有効性をシミュレーションで検証する。また、どのような問題や解決策が求められているかを合わせて明らかにする。

4. ユーザモデルの構築

前節で説明したように、ユーザ行動に関してより現実的なモデル化を行うため、ユーザに対してアンケート及び模擬実験を実施する。アンケートは、多くのユーザのモデル化を簡単に行うことが可能で、多くの研究で用いられている[6][7]。その一方で、具体的なサービスが再現しにくく、複雑な行動が測定できないため、エミュレータを用いた模擬実験も行う。

4.1 アンケート

アンケートは、質問Aとして中継に伴うバッテリー消費・動画品質の劣化に対する負担許容レベルを各々5段階で問い、質問Bとして知人または知らない人に対する中継意思レベルを各々3段階で問い、京都大学大学院情報学研究科及び工学部電気電子工学科の計118名に対して実施した。

4.2 模擬実験

まず、模擬実験で使用するエミュレータはFlashで実現する。動画との親和性が高くインタラクティブな操作も可能だからである。作成環境はAdobe Flash CS3 Professional及びActionScript 3.0とした。動画素材は無圧縮であり[8]、Adobe Flash CS3 Video Encoderにより、FLV(Flash Video)形式

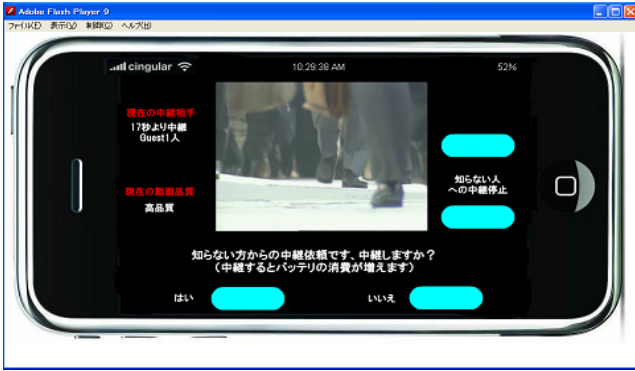


図 2 エミュレータ

にエンコードを行った．表示画像の解像度は 320×240 pixel，フレームレートは 30fps に固定し，ビットレートを本エンコーダにて設定可能な，700kbps（高品質）・400kbps（標準品質）・150kbps（低品質）・40kbps（モデム品質）の 4 段階に設定した．また，符号化は On2 TrueMotion VP6 形式を用いた．

以上により作成したエミュレータ（図 2）を用いて実験を行う．エミュレータを立ち上げると同時に動画の再生が開始される．ここで，電源につながっていない場合を想定した実験の際には，時間と共にバッテリーが消費されていき，エミュレータ右上側にあるバッテリー表示の数字が減少していく．また，動画の再生を行っているとき，あるタイミングで何回か中継依頼が来るので，実際に中継するかどうかをボタンを押して判断する．「はい」を押した場合（中継を行った場合），現在中継している相手に関する情報が表示される．ここで，中継によるユーザへの影響として以下の 3 パターンを考える．

- （１）中継する毎にバッテリー消費の増加が起こる場合
- （２）中継する毎に動画品質の劣化が起こる場合
- （３）（１）及び（２）双方の影響がある場合

（１）に関しては，5. で説明するように，中継人数が増加する毎に消費電力が段階的に増大し，実際に動画が最後まで見られなくなる場合がある．物理伝送レートが大きく，動画品質は劣化しない環境を想定している．（２）に関しては，先に説明したように，中継人数が増加する毎に高品質から段階的に劣化していき，実際に動画が見づらくなる．電源につながっており，バッテリーが消費しない環境を想定している．これらは 4.1 の質問 A に該当する．また，中継する相手として知人及び知らない人の 2 パターンを考える．これは 4.1 の質問 B に該当する．以上， $3 \times 2 = 6$ 種類の状況に関して実験を行った．なお，中継依頼は一定の間隔で行われ，最大 3 人まで中継できる．また，エミュレータ上のボタンによって，中継を途中で停止できる．模擬実験は，機材や時間等の制約上，本大学大学院情報学研究科及び工学部電気電子工学科の 15 名に対して実施した．

5. シミュレーションモデル

今回，シミュレータとして artisoc 2.0 [9] を用いる．シミュレーションパラメータを表 1 に示す．図 3 は，本シミュレーションで想定する，1 つの AP（Access Point）における無線サービ

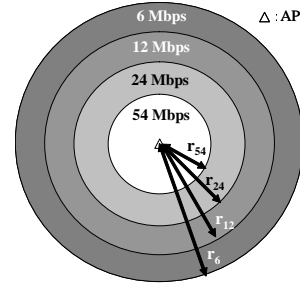


図 3 1AP におけるサービスエリア

表 1 シミュレーションパラメータ

周波数帯	5GHz
AP 送信電力	10dBm
パスロスモデル	ITU-R LoS upper bound [10]
AP 高さ	4m
ユーザ高さ	1m
ユーザ移動速度	1m/s
物理インターフェース	IEEE802.11a [11]
物理伝送レート	6/12/24/54 Mbps

スエリアを示しており，IEEE802.11a 無線 LAN（Local Area Network）で必須の物理伝送レートである 6，12，24Mbps に加えて 54Mbps のエリアから構成される．この図の r_{54} ， r_{24} ， r_{12} ， r_6 は，エラーを無視できる状態で，各々の物理伝送レートにおいてユーザが AP からフレームを受信可能な距離を示している．表 1 に示す伝播モデル及び IEEE802.11a の参照受信機 [12] を用いると， r_{54} ， r_{24} ， r_{12} ， r_6 はそれぞれ，13，33，53，73m と決定される．その上で，AP を格子状に 120m 毎に無限に配置して，移動ユーザはランダムに定められた方角で進み続けるものとする．これはユーザがあらゆる場所に点在することを想定している．従って，この AP 配置では通信不可能な場所にユーザが移動する場合があることに注意されたい．なお，シームレスハンドオーバーは可能であるとする．

表 2 に物理伝送レート及び中継人数に対する提供可能な品質の上限との関係を示す．本シミュレーションでは，特に断りがない限り，あるユーザからは最大 3 人のユーザに対して中継するものとする．今回動画は全員同一であるが，動画品質（ビットレート）は 4.2 で説明した通り，4 段階に離散的に設定する．この設定はスケラブル符号化 [13] を前提としており，これによりスループットに応じた品質設定が可能である．ある AP において，他の通信を利用する端末の存在や，本サービスを利用する端末が同時に他の通信を利用する可能性を考慮して，中継を含めた本サービスに必要なビットレートは，オーバーヘッドを考慮した実効スループットの 15 %を超えない値において，表示可能な最高の動画品質を示している．なお，中継を受ける時点での品質がこれよりも悪い場合は，それ以下の品質で中継することになる．また，物理リンクでのボトルネックのみに影響し，それ以外のネットワーク上の影響は受けないとする．

また，表 3 に中継人数に対するバッテリー消費の関係を示す．無線インタフェースの消費電力は，端末全体の消費電力の 10 %～50 %に達すると言われている [14]．そこで，無線通信，す

表 2 物理伝送レート及び中継人数に対する提供可能な品質

物理伝送レート	実効スループット	0 人	1 人	2 人	3 人
54Mbps	33.0Mbps	高	高	高	高 (700kbps)
24Mbps	18.7Mbps	高	高	高	標準 (400kbps)
12Mbps	10.1Mbps	高	高	標準	低 (150kbps)
6Mbps	5.6Mbps	高	標準	低	モデム (40kbps)

表 3 中継人数に対するバッテリー消費（相対値）

無線未利用	0 人（サービス利用）	1 人	2 人	3 人
1	1.1	1.3	1.6	2.0

なわちサービスを利用していない時を 1 とした場合に、表に示すように、サービスの利用及び中継人数が増加する毎にバッテリー消費も離散的に増大するものとする。なお、端末のバッテリー総量はユーザによらず一定とするが、バッテリーが完全に充電された状態から電源につながず、無線インターフェースを利用せずに端末を使用し続けた場合に 2000 秒でバッテリーが切れる値としている。この値は、実際に使用されている端末における値と大きな相違があると考えられる。しかし、バッテリー残量に対するユーザの意思決定は、エミュレータにおいてもバッテリー残量の絶対値ではなく、相対値（＝バッテリー残量／バッテリー総量）に対して行っている。すなわち、バッテリー総量の値自体に意味を持たないため、この設定で特に問題はない。なお、特に断りが無い限り、電源のないユーザの初期のバッテリー残量はバッテリー総量の半分以上でランダムに与える。

6. シミュレーション評価

アンケート及び模擬実験の結果を元にユーザモデルを組み込み、シミュレーションを行う。両結果共 1000 ユーザに満たないので、重複を許す形で組み込む。特にモバイル端末主体のオーバレイネットワークにおいては、2. 節の説明より、構築の容易さから Tree 型をベースに構成する方が望ましい。従って、まずは Tree 型のネットワークの構成を考える。その上で、3. で述べたように、ネットワークの構成に関して

- ・ バッテリー残量の情報（以下、バッテリー情報）
- ・ GPS などから得られる位置情報（以下、位置情報）
- ・ 中継相手が知人であるかどうかの情報（以下、知人情報）

の利用を提案し考察する。また、アンケートの方が簡易的かつ多くのユーザからの回答が得られる場合が多いため、アンケート結果をユーザモデルとして組み込むことに妥当性があれば、それが望ましい。従って、まずはアンケート結果を利用してシミュレーションを行い、別途シナリオ 2 として、模擬実験で得られた様々なユーザ行動を忠実に再現したシミュレーションを行い、問題点や解決策を明らかにする。

6.1 シナリオ 1

6.1.1 前 提

全ユーザが一斉にサービスを利用開始するとして、Tree 型のオーバレイネットワーク（マルチキャストツリー）を形成し、ユーザはそのツリーに従って中継を行う。全ユーザ共電源を利用できず、移動するユーザと静止しているユーザは各々確率 0.5

表 4 アンケート結果における「時々中継して良い」場合の閾値

質問 A 回答	バッテリー消費閾値	動画品質閾値 (kbps)
1 (負担可能)	0	40
2	0.15	40
3	0.3	150
4	0.45	400
5 (負担不可能)	0.6	700

で存在する。Tree 型の場合、2. で説明したように、中継を停止するユーザがいるとそこから中継されているユーザもサービスが受けられなくなる。中継の停止は、後述するユーザ意思だけではなく、バッテリー切れでも起こり、また移動により AP につながらない場所に入った場合にも一時的に起こる。ただし、バッテリー切れに伴ってツリー先頭のユーザが中継を停止した場合のみ、その中継先のユーザが代わりを果たすとする。なお、ツリー先頭のユーザは、AP に接続する際には直接固定網につながり、ストリームを受信しているとする。その上で、先に述べたツリー構築時に情報を用いることで中継ユーザ数やサービス利用時間、動画品質にどのような影響があるかを考察する。バッテリー情報を用いる場合はバッテリー残量の多いユーザ順に、位置情報を用いる場合は移動せずかつ物理伝送レートの高いユーザ順に、知人情報を用いる場合は知人を優先してつなぐ形で、先頭からツリーを構成していく。なお、情報を用いていない場合はランダム順に構成している場合であり、これを比較対象とする。また、最大 3 人のユーザに対して中継することから、ツリーは 3 分木となり、中継段数には制限がないとする。

6.1.2 ユーザモデルの組み込み

各ユーザには、ユーザ意思としてバッテリー消費及び品質の劣化に対して中継を停止する閾値を組み込む。各ユーザは、その閾値に達した時点で中継を停止する。アンケートの質問 A 及び B を組み合わせる閾値を設定し、ユーザ間の違いだけではなく、中継相手が知人かそうでないかによっても閾値が変動する。ここで、各ユーザには知人が 0 人～5 人の範囲で等確率でいるものとして、それ以外のユーザは知らない人として判断する。質問 B において、「いつでも中継してよい」場合はバッテリー残量及び動画品質に関係なく中継し、また「中継したくない」場合はバッテリー残量及び動画品質に関係なく中継しない。そして「時々中継して良い」場合は、表 4 に示すように閾値を離散的に設定する。ここで、バッテリー消費の閾値はバッテリー総量に対する相対値、動画品質の閾値は動画のビットレートとしている。

6.1.3 結 果

図 4 は、アンケート結果を用いて閾値を組み込んだ場合における、ツリーの構成に使用した情報毎の、サービス利用数の変化を示している。バッテリー情報を用いた場合は、初期状態でのバッテリー残量に関係なく、ユーザの意思による影響が大きいため、情報を用いない場合に比べてむしろ悪くなっている。知人情報を用いた場合は、今回は知人数が比較的少ない状況を想定しているものの、改善されている。また、位置情報を用いた場合は、低ビットレートまたは移動を行っているユーザがツリーの下位に来るために、初期状態においてはサービス利用数が

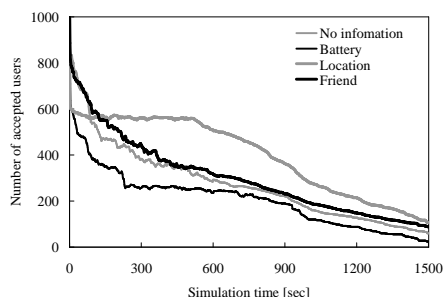


図 4 サービス利用数

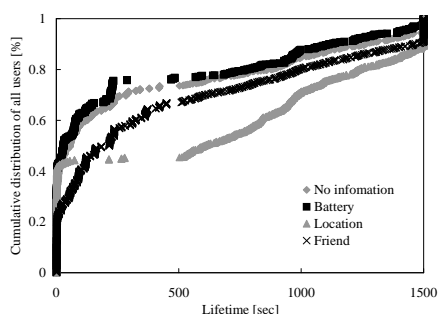


図 5 最大連続利用時間

小さくなっているが、安定性が高く長い時間サービス利用数を大きくしている。次に、図 5 に最大連続利用時間を示す。これは、ユーザ毎に動画を連続再生できた時間について最も長かった場合を表しており、先に説明したユーザが中継を停止する要因全てが反映されている。位置情報を用いた場合、開始直後から 500 秒にかけてのユーザがほぼいないことから、先に述べた安定性が裏付けられている。また、知人情報を用いた場合と共通するが、最後まで中継し続けるユーザが多いことも先の結果の要因になっている。そして、時間毎の利用動画品質に関しては、位置情報を用いた場合のみモデム品質の 40kbps よりも高いビットレートで利用できているユーザが多く存在していた。これは、ユーザの位置や Tree 型のオーバーレイネットワーク構成による影響であり、移動を行っておらずかつ物理伝送レートが高いユーザの存在が大きいためである。

6.1.4 考 察

自由に離脱が可能なサービスとした場合、Tree 型のオーバーレイネットワークを構成すると、サービス利用者の絶対数が大きくなり、動画品質も高くなり、多くのユーザが満足できるようなサービス環境が得られていなかった。特に、画質の低下に起因して中継を停止するユーザの存在は、帯域が常に変化するような環境では影響が非常に大きくなるため、このようなユーザ行動の考慮は必要不可欠になる。従って、オーバーレイネットワークの構成の際には、Mesh 型の構成手法を組み合わせるといったロバスト性の実現はもちろんのこと、位置情報の利用を前提に知人情報も組み合わせるといった手法が有効である。位置情報を用いることで、安定性が増し、高いビットレートでサービス利用可能なユーザ数も増大できる。これは、移動を行っておらずかつ物理伝送レートが高いユーザのリソースを

有効活用することの必要性を表している。また、知人情報を用いることにより、より長時間中継を受けられるようになるため、このような情報も必要である。その一方で、予想に反してバッテリー情報を用いる意味はほとんどなかった。なお、模擬実験結果を用いて閾値を組み込んだ場合との比較を行った。これは、4.2 節で説明した、中継する毎にバッテリー消費の増加及び動画品質の劣化双方の影響がある場合の結果において、実際に中継を止めた際の品質及びバッテリー残量をそのまま閾値とする。アンケートと模擬実験の双方を行った被験者がいるので比較すると、模擬実験結果の方が閾値は細くなり、アンケート結果から設定した閾値と大きく異なる場合も見られた。そして、シミュレーションを行うと、アンケートに比べて全体的にサービス利用数が小さくなり、同じような結果が得られなかった。以上から、アンケート結果を組み込む場合、サンプル数は多いものの、結果に対応する閾値の設定が課題と言える。一方で、模擬実験結果を組み込む場合、精度の高いユーザモデルが得られているものの、サンプル数の妥当性を議論する必要がある。

6.2 シナリオ 2

6.2.1 前 提

初期状態から参加するユーザに対しては、Mesh 型のオーバーレイネットワークを構成し、複数のリンクからストリームを受信しルートダイバーシチ効果を得ることで、どのユーザも常に高品質の動画を見られて、他の初期ユーザの行動に影響されないと理想化する。そして、以下の 4 種類の初期ユーザが存在することで、模擬実験で得られたユーザ行動を忠実に再現する。

- 一切の影響を受けない（電源有、24Mbps）
- バッテリーの影響のみを受ける（電源無、24Mbps）
- 動画品質の影響のみを受ける（電源有、6Mbps）
- 双方の影響を受ける（電源無、6Mbps・移動ユーザ）

ここで、5. で説明したサービスエリアは、24Mbps と 6Mbps に限定し、本来 54 (12) Mbps のエリアは 24 (6) Mbps のエリアとなる一方で、AP 配置を 100m 間隔として AP につながらないエリアはないとする。24Mbps のエリアにいるユーザは、表 2 より、高品質の動画を 3 人に中継しても最大実効スループットの 15 % 値を超えないので、必ず高品質で動画を見られるとする。また、上記の 4 種類のユーザの比率については、物理伝送レートはユーザをランダムに配置するためエリアの広さに比例し、電源の有無は各々確率 0.5 とする。その上で、サービスの途中でユーザが参加し、初期ユーザが中継していく状況を想定した場合に、どれだけのユーザが受け入れられるかを評価する。ユーザの参加は、模擬実験の条件に合わせて一定時間毎として、各ユーザは最大 3 人のユーザに対して中継し、中継段数は 1 段とする。従って、250 いる初期ユーザが仮に全て中継に応じると最終的に 1000 ユーザとなる。なお、Mesh 型のオーバーレイネットワークが既に構成されていること、またシミュレーションモデルにおいてユーザに対する影響を細かく定義していることから、シナリオ 1 で行った、オーバーレイネットワークの構成における情報の用い方による影響の考察は行わない。

6.2.2 ユーザモデルの組み込み

各ユーザには模擬実験結果で得られたバッテリー消費、品質劣

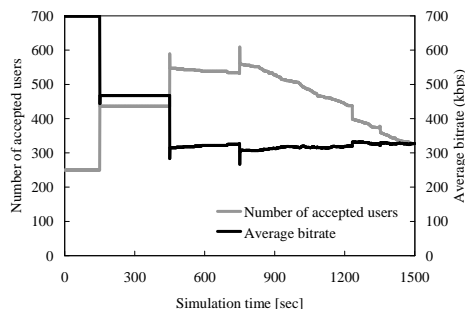


図 6 サービス利用ユーザ数と平均動画ビットレート

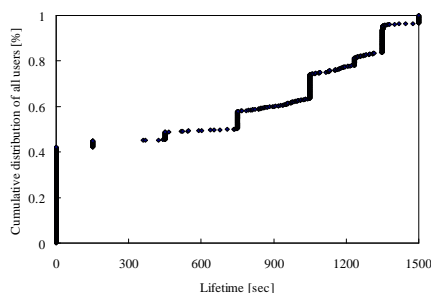


図 7 最大連続利用時間

化，そして双方の影響に対して中継を停止する閾値，及び最大中継人数を本シナリオに組み込むことで，中継人数は少なく（多く）とも閾値は低い（高い）ユーザ意思も扱う．なお，各ユーザには知人が 0 人～3 人の範囲で等確率でいるものとする．知人に対して優先的に中継するが，知らない人に中継するとなった時点で，知らない人に対する閾値に基づき行動する．

6.2.3 結果

図 6 にサービス利用数及び，平均動画ビットレートを示す．最初にユーザが参加する際（150 秒後）は，多くのユーザが中継に応じるのでサービス利用数を大きく伸ばしているが，450，750 秒後と次第に中継に応じるユーザ数が減っている．また，ユーザ数の増加に応じて平均ビットレートの大きさも小さくなっている．450 秒を過ぎたあたりから中継を停止するユーザも現れているが，平均ビットレートが約 300kbps で変化していないことから，主に標準品質及び低品質以上の品質が保証されていれば長く中継していただけるユーザが多く，リソースを効率的に利用できている．なお，ユーザが参加する際に急に値が上下しているが，これは，中継を開始したものの画質の低下に反応して中継を止めたユーザの存在による．また，図 7 に最大連続利用時間を示す．一定の区間（750 秒～1000 秒）に多くのユーザが集中しており，先にも述べたようにユーザ行動には傾向がある反面，一部のユーザは比較的に短い時間の中継しか行っておらず，その影響を受けているユーザもいる．なお，0 秒のユーザが 4 割程度いるが，仮に全初期ユーザが 3 ユーザに対して中継できる場合に対して，ユーザ意思により最後までサービスに参加できなかったユーザの割合を示している．

6.2.4 考察

それほど高い品質でなくとも，一定の品質が保証されていれ

ば長く中継していただけるユーザが多いことから，ユーザが要求する品質に応じて，中継に利用可能なリソースが決定されるような手法を用いることでリソースを効率的に利用できる．逆に，短い時間の中継で良いので，多くのユーザに高品質で中継する必要がある場合は，6.2.4 節の手法に加え，移動や他の通信の利用制限などによる一時的な帯域の確保が必要であり，そのための動機付けなども合わせて必要である．

7. ま と め

本稿では，ユーザが使用している端末の状況やサービス品質に応じた行動の調査を通じてユーザのモデル化を行った．そして，そのモデルを用いてシミュレーションによる解析を行い，オーバレイネットワークの構成における様々な情報の利用の有効性，また現状の問題や解決策について明らかにした．

謝辞 この研究の一部は，（財）近畿移動無線センター（モバイルワイヤレス研究助成）の援助を受けて実施された．

文 献

- [1] X. Zhang, et al., "CoolStreaming/DONet: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming," Proc. IEEE INFOCOM 2005, Vol.3, pp.2102-2111, Mar. 2005.
- [2] P. Francis, "Yoid: Extending the internet multicast architecture," Technical report, AT&T Center for Internet Research at ICSI, Apr. 2000.
- [3] M. Matuszewski and E. Kokkonen, "Mobile P2PSIP - Peer-to-Peer SIP communication in mobile communities," Proc. CCNC 2008, pp.1159-1165, Jan. 2008.
- [4] A. Habib and J. Chuang, "Incentive mechanism for peer-to-peer media streaming," Proc. IEEE IWQoS 2004, pp.171-180, Jun. 2004.
- [5] 小笠智康他，「利用者のコミュニティ情報を利用したオーバレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法，」信学技報，IN2008-24, Vol.108, no.92, pp.85-90, Jun. 2008.
- [6] 山影進，服部正太，「コンピュータのなかの人工社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系，」構造計画研究所，Aug. 2002.
- [7] 小野智弘他，「ユーザ嗜好の個人差と状況差を考慮した映画推薦システムの実現と評価，」情報処理学会論文誌，Vol.49, no.1, pp.130-140, Jan. 2008.
- [8] R. Shinkuma, et al., "A new resource management scheme for multiple video transmission in wireless environment," IEICE Trans. Commun., Vol.E85-B, no.10, pp.2153-2160, Oct. 2002.
- [9] 山影進，「人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門，」書籍工房早山，Jan. 2007.
- [10] Recommendation ITU-R P.1411-2, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100GHz," pp.6-7, 1999.
- [11] IEEE Std. 802.11a wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High-speed physical layer in 5 GHz band, 1999.
- [12] J. Heiskala and J. Terry, "OFDM wireless LANs: A theoretical and practical guide," Sams, 2001.
- [13] S. Banerjee, et al., "Scalable application layer multicast," Proc. of ACM SIGCOMM, Vol.32, no.4, pp.205-217, Aug. 2008.
- [14] Y. Jiao and R.H. Ali, "Adaptive power management for mobile agent-based information retrieval," Proc. AINA 2005, Vol.1, pp.675-680, Mar. 2005.