

無線通信の状態に基づく入力データ品質変化時の ライフログ解析アプリケーションの動作評価

山下 暁 香^{†1} 小口 正 人^{†1}

近年のデータ収集技術とストレージの大容量化によって、ライフログの実現は以前と比べ格段に容易になった。これを受け、収集されたセンサデータに各種解析を施すことで、ユーザにとって有用な情報に変換するシステムであるライフログ解析アプリケーションが多数開発されてきた。しかし、これらのライフログ解析アプリケーションにおいて、入力データの品質については詳細に考慮されてこなかった。そこで、本稿では、動画データと加速度データを入力とし、人の行動の言語化を出力するライフログ解析アプリケーションにおいて、入力データの品質変化がこのアプリケーションの動作に与える影響を定量的に評価した。データの品質として、無線 LAN の通信時の品質に注目し、送信データのパケットロスが本アプリケーションに与える影響を評価した。結果として、アプリケーションが一連のストリームの集合をまとめて処理する場合と、各ストリーム毎に処理する場合で、パケットロスによる影響が大きく異なる事がわかった。

The Performance Evaluation of Lifelog Analysis Application based on the Quality Difference of Input Data caused by the situation of Wireless LAN Communication

AKIKA YAMASHITA^{†1} and MASATO OGUCHI^{†1}

In recent years, thanks to the development of data collection technology and a large amount of storage, realization of lifelog have been easier. Thus many kinds of lifelog analysis application which is the system to convert collected sensor data into useful information for human have been developed. However, the quality of input data of these applications have not been concerned in detail. In this paper, we showed correlation between input data quality and the behavior of lifelog analysis application which input data is video and acceleration and output is the verbalization of human's action in quantitative index. As the quality of input data, we focus on the packet loss rate of data which is transmitted with wireless LAN. Finally we found the limit quality of wireless LAN for the application and the situation when the packet loss rate cause limit quality of Wireless LAN.

1. はじめに

近年、動画データを取得できるネットワークカメラ、加速度や GPS 情報を取得できるスマートフォンといった様々なセンサを搭載した端末の小型化、高性能化により、実世界のデータを収集する事が技術的に容易になった。また、ストレージの大容量化やクラウドなどの普及により、個人が TB クラスのストレージを持つ事が十分可能となり、低廉、もしくは無料で大量の情報を蓄積、検索、共有する事が可能になった。これらのデータ収集技術とストレージの発達により、ライフログの実現は以前と比べ格段に敷居が低くなったと言え、これを受け、様々な種類のライフログ解析アプリケーションが開発されてきた。ライフログ解析アプリケーションとは、実世界で収集された様々なセンサデータに対して、各種解析処理を加える事によって、収集されたセンサデータを人の行動履歴や健康状態といった、人間にとって有用な情報に変換するシステムの事である。

近年のデータ収集技術とストレージの発達により、様々な種類のライフログ解析アプリケーションが開発されてきたが、一方で、これらのライフログ解析アプリケーションに入力されるデータの品質については、あまり詳しく考慮されてこなかった。ライフログ解析アプリケーションの振舞いが異なれば、そのアプリケーションが要求するデータの品質も異なる。それぞれのライフログ解析アプリケーションが要求する入力データの品質が明らかになれば、収集データを効率的に蓄積する事が可能になる。従って、どのような処理をするライフログ解析アプリケーションがどの程度の品質の入力データを必要とするのかという点を明らかにすることは重要な課題である。

本研究の目的は、図 1 に示されるように、センサ空間から吸い上げたデータを入力とし、データ処理の結果として、何らかの出力を返すライフログ解析アプリケーションにおいて、入力データの品質の差が出力結果に及ぼす影響を定量的な指標で評価することである。

実際の評価実験では、ライフログ解析アプリケーションの代表例として、動画データと加速度データを入力とし、人の行動の言語化を出力するライフログ解析アプリケーションを用いた。これは例えば、家庭における監視システムとして用いられる事を想定している。動画データをそのまま用いるとプライバシーの問題があるが、これを言語化して扱う事により、プライバシーの問題を回避できる場合があり、ライフログの活用範囲を大きく広げる可能性がある。

^{†1} お茶の水女子大学
Ochanomizu University

ると考えられる。なお、以降、このライフログ解析アプリケーションを「言語化アプリケーション」と呼ぶ。

品質評価実験では、無線 LAN の通信品質に着目し、センサ空間から収集した動画データの無線通信時のパケットロスによる画質変化を扱った。実験においては、パケットロス発生を引き起こす要因を評価するために、背景で通信を行う Android 端末を用いて帯域に負荷をかけた。データ品質評価実験の結果として、動画データ送信時の伝送レート、パケットロス発生率が言語化アプリケーションの正答率に与える影響を明らかにした。

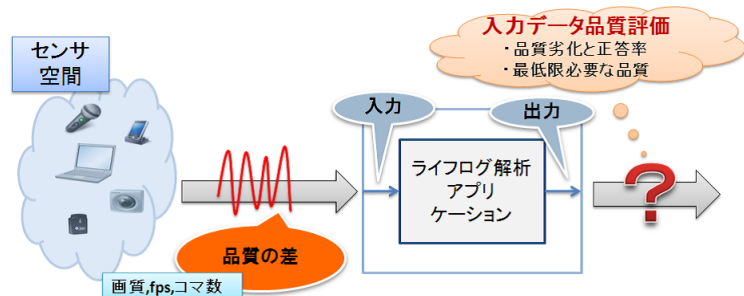


図 1 研究目的の概念図

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 章で関連研究について述べ、本研究の位置づけを明らかにし、3 章で評価実験に用いた言語化アプリケーションの動作と提案するデータ品質評価フレームワークについて延べる。4 章で評価実験の概要を説明し、5 章で結果と考察を述べ、5 章で本稿をまとめる。

2. 関連研究と本研究の位置づけ

本研究の特徴は、以下の 2 点である。

- (1) ライフログ解析アプリケーションにおける入力データの品質を詳細に考慮している点
- (2) 無線 LAN による通信の品質変化が実際にライフログ解析アプリケーションのような高度な処理を行うアプリケーションに与える影響を評価している点

(1) について、本研究で実験に用いるライフログ解析アプリケーションは、センサ空間に設置されたセンサ端末から収集されたデータを解析することで、人の行動を区別し、その結果、行動を言語化して出力するものである。このように、各種センサ端末を用いて収集されたデータを解析することで、人の行動認識に用いる研究は多数行われている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しか

し、このようなシステムに用いられるデータの品質についてはあまり詳しく議論されてこなかった。本研究では、ライフログ解析アプリケーションに対し、入力データの品質に注目し、言語化アプリケーションの実行結果との相関関係を詳細に考察しているという点で、これらの研究とは異なる。先行研究¹⁰⁾として、動画データと加速度データの取得コマ数と画質の品質変化が言語化アプリケーションに及ぼす影響を評価したが、本稿では、そのような入力データの品質変化が無線 LAN を介した通信において起こる場合を想定し、無線 LAN の品質に着目して評価を行った。

(2) について、近年、無線 LAN の急速な普及により、公共スペースでの公衆無線 LAN サービスが幅広く展開されている。その結果、1 つの AP に複数の端末が接続し通信するという状況が一般的であり、複数の端末が帯域を分け合いながら通信する際、キャリアビジーやコリジョンなどが原因でスループット低下やパケットロスが発生する。無線通信のデータ品質に関連する研究では、文献^{6)~8)}のように、干渉の影響を考慮しながら最適な AP 選択を提案するもの、文献⁹⁾のように、最適な伝送レート適応について述べたものがある。文献⁵⁾では、AP と端末間の距離と端末の伝送レートの組み合わせによるスループット計測を行っており、スループット低下と MAC フレーム再送率の関係を示している。このように、無線 LAN の通信品質、環境を最適化する試みは多くなされてきたが、一方で、無線 LAN の通信状況により、品質が変化した送信データがライフログ解析アプリケーションのように高度な処理をするアプリケーションの入力データとして用いられる場合、無線 LAN の品質変化がアプリケーションの動作にどの程度の影響を与えるのかという研究は行われてこなかった。そこで、本研究では、実機実験により無線通信環境下で送信データにパケットロスを発生させ、パケットロスにより品質変化したデータをライフログ解析アプリケーション一例である言語化アプリケーションに入力した時、言語化アプリケーションが受ける影響を評価した。

3. 言語化アプリケーションとデータ品質評価フレームワーク

3.1 言語化アプリケーションの動作

本研究の評価実験では、ライフログ解析アプリケーションの一例として、動画データと加速度データから人の行動を言語化するアプリケーション¹¹⁾を用いる。近年の様々なライフログ解析アプリケーションにおいて、主に利用されているデータの代表例として動画データと加速度データが挙げられると考えられるため、このアプリケーションを用いた。

言語化アプリケーションの動作環境は以下の通りである。2 つの異なる角度に設置された

2 台のネットワークカメラによって撮影された動画データの毎フレームに対して画像処理を施し、また加速度データも同時に解析することにより、記録データ中で人が行った行動を言語化する。例えば、図 2 のように、「人がドアを開ける」という行動をしている動画を入力データとしてシステムに与えた場合、解析結果として「人がドアを開ける」という行動を行っている間は「人がドアを開ける」という言語化が出力され続ける。

実行環境は図 3 の通りである。2 台のネットワークカメラと定義物体に取り付けた加速度センサ端末 SunSPOT から得られる動画データと加速度データを時刻によって同期し、それぞれを Node1, Node2, Node3 とする。これを Bayesian Classifier または HMM により処理し、条件を満たした場合のみ人の行動の言語化を出力して、ユーザーに情報提供する。評価実験では、比較のため、Bayesian Classifier と HMM という 2 つの異なるデータ処理モデルを用いた。

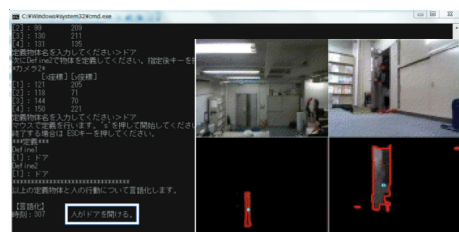


図 2 言語化アプリケーションの動作

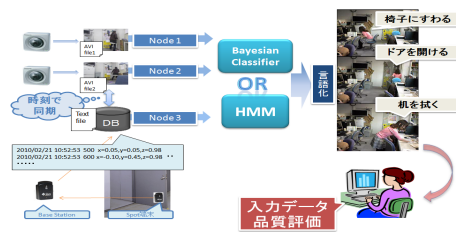


図 3 言語化アプリケーションの実行環境

3.2 データ品質評価フレームワーク

図 3 に示される言語化アプリケーションの処理を「データ収集層」、「データ処理層」、「情報解析層」の 3 層に分割したものを概念的に「データ品質評価フレームワーク」と呼ぶ（図 4）。データ収集層は、言語化アプリケーションで解析に利用されるセンサデータの入力部分であり、データ処理層は、データ収集層から渡されたノード毎のデータを集約し、理論的解析処理を施す部分である。そして情報解析層では、データ処理層から渡された解析結果を出力する。

本論文では、図 4 の左右のように、言語化アプリケーションのデータ処理層に対して、Bayesian Classifier と HMM という 2 種類の異なる手法のためのモデル化を行い、それぞれの論理的処理を通して言語化を行う場合に、入力データの品質劣化が言語化アプリケーションの性質に与える影響を比較した。

2 種類のデータ処理層の違いは以下の通りである。Bayesian Classifier の場合は、動画データと加速度データの各コマ毎に対してデータ処理を施すが、HMM の場合は、動画データと加速度データの集合に対してデータ処理を行っている。なお、データ処理方法の詳細については、文献¹⁰⁾ の 4 節で述べられているため、省略する。

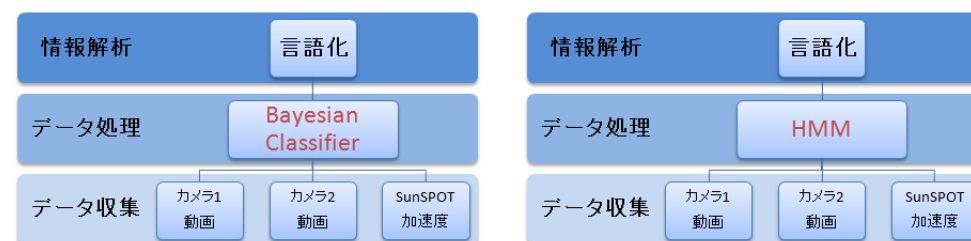


図 4 データ品質評価フレームワーク
(左：ベイズ分類器モデル、右：隠れマルコフモデル)

4. 評価実験概要

4.1 想定する言語化アプリケーションの実行環境

言語化アプリケーションは、図 5 のようなセンサ空間において、人が行動を行った時に、その行動の言語化を出力するものである。この言語化アプリケーションを一般的な家庭における監視システムとして利用する場合を想定する。

カメラによってセンサ空間から収集した動画データは、AP を通して無線 LAN で PC に送信される。動画データの送信については、多少のパケットロスがあっても通信速度を重視する必要があるため、UDP を用いた。この時、周りの干渉波やノイズの影響により、スループット低下とパケットロスが発生する。ここで言う干渉波やノイズは、以下の状況で起こりえる。

- (1) データ送信に用いている AP を、他の PC や Android 端末など複数端末が共有している。
- (2) データ送信に用いている AP 付近に同一チャネル、または近いチャネルを用いる別の AP が存在する。

以上のような環境下では、個々の端末の帯域が減少し、通信の品質が劣化する。本稿では

(1) の状況を想定した評価実験を行った^{*1}。カメラから収集したメインである動画データの送信時に、背景通信を行う端末として Android 端末を用い、帯域を奪い合う環境を実機実験で再現した。実験では、メインの動画データ送信時の伝送レートを変化させ、動画データのような一定レートのストリームが無線 LAN のマルチレート多重化により受ける QoE 特性を調べた。

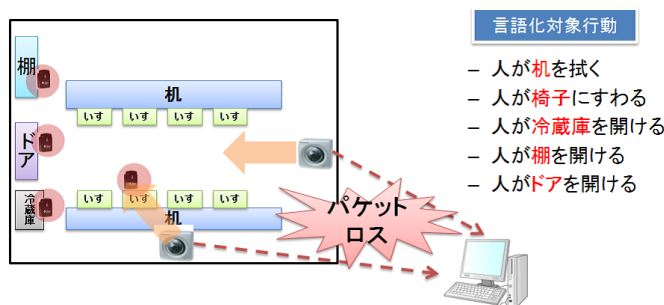


図 5 言語化アプリケーションの実行環境

4.2 実験環境

実験環境を図 6 に示す。送信側 PC は言語化アプリケーションのカメラを想定しており、681MB の動画データを Ethernet Converter (EC) を利用して UDP パケットで送り出す。定量的な評価のため、動画データ送信時の伝送レートを固定した。マルチレートの規定値として、IEEE802.11g では 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps の 8 種類の伝送レートが定義されている。本実験では、伝送レートが指定可能な Planex 社の MZK-MF300N¹²⁾ を使用し、代表値として 54, 36, 18, 6Mbps に固定したとき、また、自動とした場合の実験を行った。送信後のパケット解析のため、MAC フレームモニタをキャプチャする機器 AirPcap¹³⁾ を送信側端末の近くに設置した。

受信側については、動画データの受信をするための AP に背景端末として Android 端末が 0-5 台通信しており、動画データ送信端末、また Android 端末同士で帯域を奪い合う。Android 端末には Nexus S¹⁵⁾ (以下、NS) を利用し、こちらについては、伝送レートを 54Mbps に固定して iperf¹⁴⁾ で通信を行う。本実験において送信側と受信側端末の距離は、1m 程度であり、NS は AP のすぐ近くに配置されている。

^{*1} なお、(2) の状況については今後の課題とする。

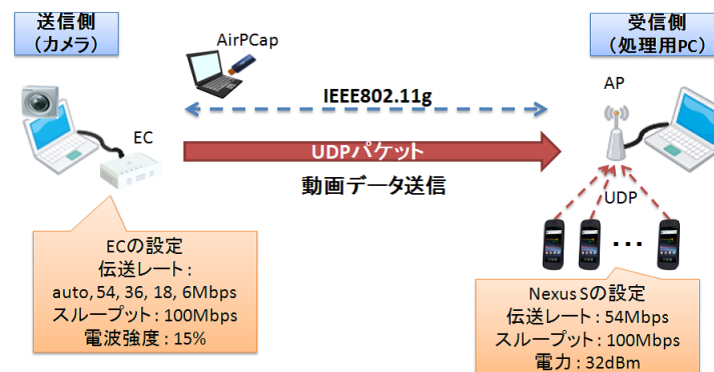


図 6 実験環境概要図

5. 実験結果と考察

5.1 マルチレート適応時による動画データのパケットロス率

総データサイズが 681MB の動画データをマルチレートで送信した際の到達データサイズとパケットロス率の関係を図 7 に示す。グラフは、背景端末である NS が AP と通信している中に割り込む形でデータサイズが 681MB の大きさの動画データの送信を行った時、どの程度のサイズのデータが受信側に届くか (図 7 左)、また、どの程度のパケットロスがあったか (図 7 右) を表している。左右どちらのグラフも横軸は NS の通信台数である。なお、グラフの伝送レートは、動画データ送信側の伝送レートであり、NS の伝送レートではないことを注意されたい。NS の伝送レートは常に 54Mbps に固定されている。

グラフより、伝送レートが 6, 18Mbps と低いときは、背景端末 NS の台数が 0 台にもかかわらず、到達データのサイズは小さく、パケットロス率についても、6Mbps の時に常に 90% 程度、18Mbps の時に 60-80% 程度と高い。従って、送信データの伝送レートが低い時は、電波が弱いため、54Mbps で通信している NS に上手く割り込めないという事がわかる。

一方、動画データの伝送レートが 36Mbps, 54Mbps と高い値の場合、背景端末 NS の台数が少ない時は、十分なサイズの動画データが到達し、パケットロス率も低い。NS の台数が増えると、到達データのサイズとパケットロス率が顕著に変化し、NS が 5 台の時は、全てのレートにおいて、60% 以上のパケットロスが発生する。

伝送レートを自動としたときのグラフ (auto) を見ると、背景端末が 2 台から 3 台に変わる時に、到達データサイズとパケットロス率の値が他と比べて急激に変化している。これ

は、NS が 0 台の時は、帯域が空いている上、AP と送信側端末の距離が 1m と近くにある点から、高い伝送レート 54Mbps で通信を行うのに対し、背景端末が 2 台から 3 台に変わった時点で、通信状況が悪くなったという判断を行い、伝送レートを 54Mbps から 36Mbps に落としたためであると考えられる。このことより、AP と送信側端末の距離が 1m 程度の時、背景端末が 2 台の時まで快適な通信を行えるという事がわかった。

なお、AP と送信側端末の距離が 1m よりも離れているときについても今後実験していきたい。

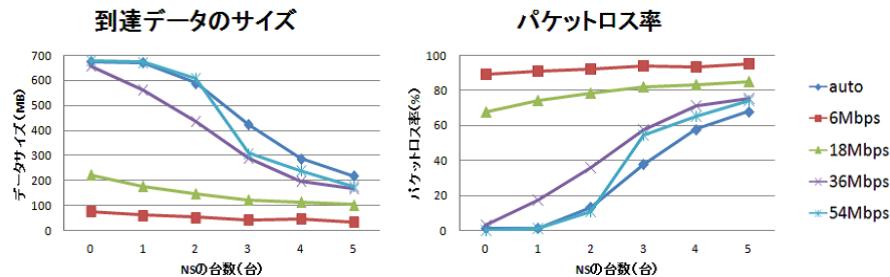


図 7 背景端末の台数と到達データサイズ、パケットロス率の相関関係

5.2 背景端末のスループット

図 7 のように、背景端末 NS が増加するとパケットロス率が大きくなるのは、動画データ送信端末と NS が帯域を奪い合うためである。そこで、この節では、背景端末 NS のスループットの関係を示すことで、動画データ送信端末が NS の帯域にどの程度割り込めたかを調査し、動画データ送信端末の伝送レートが 18, 36Mbps のときは、NS の帯域に割り込める事を確認した。

図 8 に動画データ送信端末の伝送レートが auto, 6, 18, 36, 54Mbps の時の背景端末 NS の平均スループットと総スループットの関係を示した。グラフに示されているスループットは、背景端末 NS のみのものである。

比較のためのデータとして、動画データ送信端末は通信しておらず、背景端末 NS のみが通信している場合のスループットも左上のグラフに示す。NS のみの通信の時、1 台で 20Mbps 程度のスループットが出ていて、1 台あたりの平均スループットは台数の増加とともに減少しており、動画データ送信を行っていないときは、NS 同士が帯域を平等に分け合っている。

動画データ送信端末の伝送レートが 6, 18Mbps の時については、背景端末の台数増加とともに、総スループットが増加している。これは、背景端末 NS の台数が増加した場合に、動画データ送信端末が帯域を増やす事ができていないという事を示している。これに対し、動画データ送信端末の伝送レートが 36, 54Mbps, または自動の時、背景端末 NS の台数が 3, 4, 5 台と増加すると、総スループットは減少している。すなわち伝送レートがある程度大きい時は、背景端末の台数増加に応じて、動画データ送信端末は帯域を増やす事ができることを確認した。

NS の台数増加に応じて、総スループットが減少する理由として、NS 同士のパケットの衝突が原因であると考えられる。つまり、複数の NS が帯域を奪い合いながら通信をしている状況下に、動画データのような、一定のスループットでデータ送信をする端末が割り込む場合、データ送信端末の伝送レートが低い場合は、背景端末の帯域を奪う事ができず、データ送信端末が帯域を増加させることができない。これに対し伝送レートが高い場合は、背景端末への干渉（パケットの衝突）が大きくなり、背景端末自身はその分、帯域を増加させることができる。

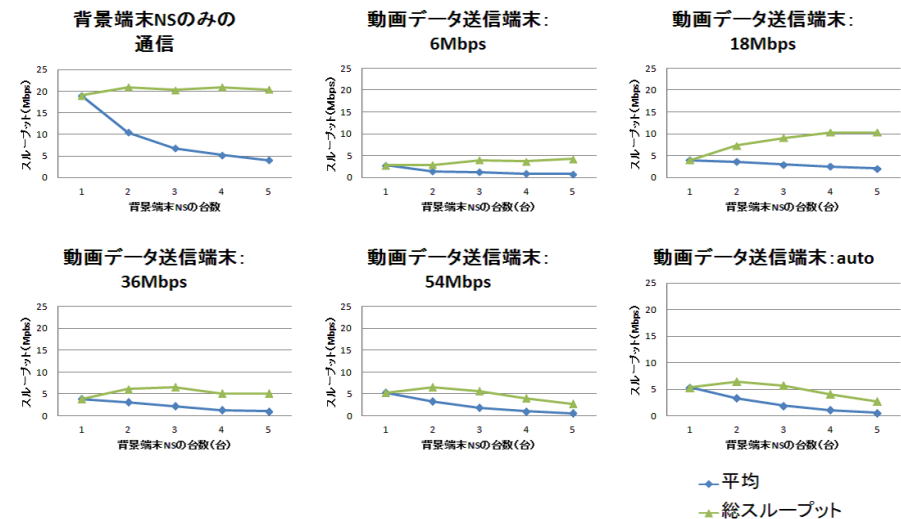


図 8 マルチレート適応時の背景端末の平均スループットと総スループット

5.3 言語化アプリケーションの正答率

背景端末 NS との AP 共有による無線 LAN の品質変化によって、パケットロスが発生した動画データを実際に言語化アプリケーションに入力した時に、言語化アプリケーションの正答率がどのような影響を受けるかを定量的に評価した。

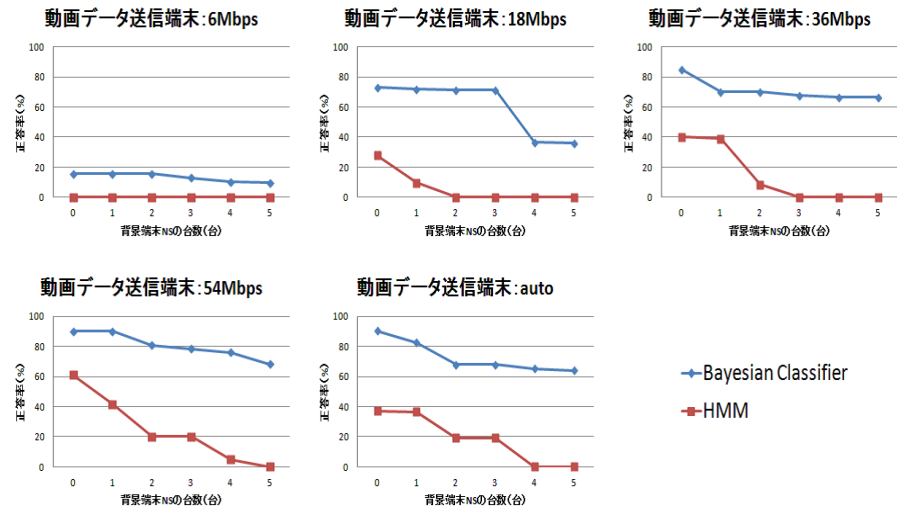


図 9 マルチレート適応時の背景端末の台数と言語化アプリケーションの正答率

		動画データ送信端末の伝送レート				
		6Mbps	18Mbps	36Mbps	54Mbps	auto
背景端末の台数	Bayesian Classifier	0台	5台	5台	5台	5台
	HMM	0台	0台	0台	1台	0台

表 1 最低限の正答率が得られる時の背景端末の台数

5.3.1 言語化アプリケーションの正答率の算出方法

評価実験における結果である正答率の算出方法を説明する。入力となる動画データと加速度データの双方が最高品質の 100 % であるとき、人の行動が起きている間はその行動の言語化が出力され続ける状態を正答率 100 % とし、この時の言語化の出力回数を V_{100} とおく。入力データの品質劣化に伴い、起こり得る誤った言語化の種類としては以下の 3 種類が

ある。

- 人の行動が起きている間に言語化されているが、品質 100 % のときと比べ、余計な回数の言語化が出力される（出力回数を V_{extra} とする）
- 行動とは違う言語化が出力される（出力回数を V_{error} とする）
- 行動が起きているのに言語化が出力されない。

そこで品質 q のデータを入力している時の言語化の出力回数を V_q として、以下の評価式で正答率 C を算出した。評価式は、上の 3 種類の誤った言語化が起こると正答率が減少するように定義した。

$$C = \frac{V_q - V_{extra} - V_{error}}{V_{100} + V_{extra} + V_{error}} \times 100 \quad (\%)$$

また、もう 1 つの評価指標として、言語化アプリケーションが正答となるのに最低限必要なデータ品質も明らかにした。これは、行われた全ての行動に対して少なくとも 1 回は言語化が出力される、言語化アプリケーションの限界の品質を意味する。つまりデータの品質を低下させて行った時に、「行動が起きているのに言語化が出力されない」という状態が起きる直前の品質である。

5.3.2 マルチレート適応時の無線 LAN 環境と言語化アプリケーションの正答率

図 9 に、パケットロスが発生し、品質劣化した動画データを言語化アプリケーションに入力したときの言語化アプリケーションの正答率を示した。

いずれのグラフにおいても、Bayesian Classifier と HMM を比較すると、HMM でデータ処理をした方が正答率が低くなる。この理由は、3.2 節で述べたように、データ処理方法の特徴の違いによっており、HMM は、動画データと加速度データについて、ある程度のデータの集合に対して処理をするものであることから、現在のフレームに関する処理が前後のフレームに依存しており、前後のフレームのパケットロスによる品質変化により敏感に反応するためである。

また、正答率の変化の特徴として、Bayesian Classifier の方は、比較的なだらかに減少するのに対し、HMM は、背景端末が 2-4 台の時に正答率の値の変わり目になっており、4-5 台の時には、正答率は 0% であった。

表 1 にそれぞれの伝送レート適応時において、言語化アプリケーションの最低限の品質が得られる時の背景端末 NS の台数を示した。表中の「0 台」は、NS が 0 台にもかかわらず最低限の正答率は得られなかった事を意味する。つまり、その伝送レート適応時は、背景端

末の台数に関係なく、すべての言語化対象行動のうち、一度も言語化が出力されなかったものがあるという事である。6Mbps と伝送レートが低い場合、Bayesian Classifier と HMM の双方において、NS の台数に関係なく最低限の正答率は得られなかった。

Bayesian Classifier については、伝送レートが 18Mbps 以上の時は、背景端末が 5 台になっても、最低限の正答率は満たされていた。一方、HMM の方は、伝送レートが 54Mbps の時のみ、最低限の正答率が確保できるという結果になり、HMM は Bayesian Classifier に比べて、パケットロス率の影響をかなり敏感に受ける事がわかった。

以上より、マルチレート適用時、Bayesian Classifier では、18Mbps の時に、背景端末が 5 台の時まで（図 7 より、この時のパケットロス率は 80% 程度）、言語化アプリケーションが最低限の正答率を出すことができ、HMM では、54Mbps の時、背景端末が 1 台の時まで（図 7 より、この時のパケットロス率は 0% 程度）、最低限の正答率を出す事ができた。

6. まとめと今後の課題

本稿では、ライフログ解析アプリケーションの一例である言語化アプリケーションを用いた実機実験を通して、動画データのような一定サイズのストリームが無線 LAN のマルチレート多重化により受ける QoE 特性を調査した。結果として、ストリームデータを各フレームごとに処理するデータ処理モデルである Bayesian Classifier とある程度のフレームの集合ごとに処理するデータ処理モデル HMM を通した時に、言語化アプリケーションの最低限の正答率を得るために、要求されるデータ品質が異なる事がわかった。具体的には、Bayesian Classifier では、18Mbps、背景端末 5 台、パケットロス率 80% の品質、HMM では、54Mbps、背景端末 1 台、パケットロス率ほぼ 0% の品質が必要であった。このように、一連のデータをまとめて処理するモデルに対しては、入力データの品質変化の影響は大きい。

今後の課題として、本稿で得られた実験結果は代表値を用いたものであるため、値の変化が激しい部分について、詳細な実験を行っていききたい。また、動画データ送信端末と AP の距離が 1m と比較的近い距離に固定しての実験のみしか行っていないため、距離の調節を行いたい。また、背景端末の伝送レートを変化させた時の評価も必要だと考えられる。

さらに、4.1 節で述べた干渉環境の 2 番の AP 同士が干渉する評価実験も行いたい。

謝 辞

本研究は一部、独立行政法人情報通信研究機構の委託研究「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発・課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発」によるものである。

参 考 文 献

- 1) 河口 信夫, 小川 延宏, 岩崎 陽平, 梶 克彦, 寺田 努, 村尾 和哉, 井上 創造, 川原 圭博, 角 康之, 西尾 信彦, "HASC Challenge2010:人間行動理解のための装着型加速度センサデータコーパスの構築", DICO2011, 1E-1, 2011 年 7 月
- 2) 小川 延宏, 梶 克彦, 河口 信夫, "HASC2010corpus を用いた被験者数と人間行動認識率の相関分析", DICO2011, 1E-2, 2011 年 7 月
- 3) 服部 祐一, 井上 創造, 平川 剛, "行動情報共有システムにおける行動認識と可視化", DICO2011, 1E-4, 2011 年 7 月
- 4) 中村 優斗, 服部 祐一, 井上 創造, 平川 剛, "動画像と加速度データを用いた大規模行動情報共有システムの評価", DICO2011, 2E-1, 2011 年 7 月
- 5) 岩木 紗恵子, 村瀬 勉, 小口 正人, "マルチレート無線 LAN の実環境におけるモバイル端末を用いた AP 選択方法の評価", DEIM2012, C11-2, 2012 年 3 月
- 6) D. Han, D. G. Andersen, M. Kaminsky, K. Papagiannaki, S. Seshan, "Access Point Localization Using Logarithmic Signal Strength Gradients", Network Measurement, LNCS 5448, pp. 91-100, 2009.
- 7) D. Han, A. Agarwala, D. G. Andersen, M. Kaminsky, K. Papagiannaki, S. Seshan, "Mark-and-Sweep: getting the "Inside" Scoop on Neighborhood Networks", IMC 08, October 2008.
- 8) M. Abusubaih, A. Wolisz, "Interference Aware Decentralized Access Point Selection Policy for Multi-Rate IEEE 802.11 Wireless LANs", 19th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC, September 2008.
- 9) P. A. K. Acharya, A. Sharma, E. M. Belding, K. C. Almeroh, K. Papagiannaki, "Rate Adaptation in Congested Wireless Networks through Real-Time Measurements", IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 9, no. 11, pp. 1535-1550, November 2010.
- 10) 山下 暁香, 小口 正人, "ライフログ解析アプリケーションにおける入力データ品質評価とスマートハウスにおいて収集した実データへの適用", DEIM2012, F9-1, 2012 年 3 月
- 11) 落合恵理香, 小林一郎, "特定空間における人の行動予測モデルに基づく言語化への取り組み", 2010 年度人工知能学会全国大会 (第 24 回), 2G1-OS3-2, 2010 年 6 月
- 12) PlanexMZK-MF300N:
<http://platax.co.jp/product/router/mzk-mf300n/>
- 13) AirPCap:
<http://www.cacotech.com/products/airpcap.html>
- 14) Iperf:
<http://sourceforge.net/projects/iperf/>
- 15) NexusS:
http://ja.wikipedia.org/wiki/Nexus_S