移動体の位置と速度を考慮したSDNによる無線LANの効率的接続方式のシミュレーション評価

岩月 海人[1]　長谷 錦[1]　佐藤 健哉[1]

概要：
高機能端末の増加によりアプリケーションが必要としているデータ量も増加している．それにより LTE 回線の利用がさらに増大していくことが予想され，人が集中するような場所や時間帯によっては回線が著しく混雑することが予想される．回線の混雑を回避するために各キャリアは LTE などの携帯回線のトラフィックを Wi-Fi などへオフロードするという対策をとっている．携帯回線の周波数リソースが限られているということもあり，今後 Wi-Fi などの無線 LAN を活用する動きが活発化していくと考えられる．無線 LAN などのカバーエリアの狭い通信方式を利用して移動体通信を行う場合，セルラ利用時と比べてアクセスポイント (AP) の切替えが頻発する．AP の切替えが頻発するため，従来よりも迅速なネットワークへの接続が必要となってくる．ここでは迅速なという言葉を切替え時の通信切断時間が短いということと定義する．そこで本研究では，移動体特有のパラメータである位置と速度を考慮して接続する AP を選択し，SDN(Software Defined Network) を利用し，通信切断前に，次に接続する AP と情報を交換することで効率的なネットワーク接続を可能とする接続方式を提案する．

Evaluation of Efficient Wireles Network Connection Method Considering Position and Speed of Mobile Nodes by SDN

KAITO IWATSUKI[1]　NISHIKI HASE[1]　KENYA SATO[1]

1. はじめに

1.1 背景

近年，スマートフォンをはじめとする多くの移動体が通信を行っている．これらの移動体の通信には LTE などのセルラネットワークが主に利用されている．それら移動体の増加や，アプリケーションが必要とするデータ量の増加などに起因してセルラネットワークが逼迫することが懸念されている．セルラネットワークの逼迫という事態を回避するために各キャリアはセルラネットワークのトラフィックを無線 LAN システム (Wi-Fi など) をはじめとしたアンライセンスドバンドへオフロードするという対策を行っている．実際に，Cisco の調べでは移動体通信におけるオフロードされたトラフィックが占める割合は 58%[1] となっており，今後も増加していくことが見込まれる．したがって，今後移動通信における無線 LAN システムの重要性が増していくことが予想できる．それに加えて自動車などの分野でも通信における無線 LAN システムの活用が期待されている．

しかし，上で述べたように移動通信に Wi-Fi などの無線 LAN システムを利用すると新たな問題が発生する．それは移動体が接続中の無線 LAN のアクセスポイント (AP) を切り替える際に，通信を行えない期間がセルラシステム利用時と比べて長くなるという問題である．セルラシステムと比較して，既存の無線 LAN は 1 つの AP のカバーエリアが狭く，複数の異なるネットワークに属する AP が協調して端末が AP を切り替えることを補助するなどの機能は備えていない．つまり，セルラシステムを用いた場合より，無線 LAN を用いた移動通信は通信切断の頻度が高く，切断時間が長いということである．

1.2 目的

無線 LAN を用いて移動通信を行う際の問題点として，

[1] 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

© 2018 Information Processing Society of Japan

セルラネットワークと比べて，AP を切り替えるときに長い切断時間が発生することを述べた．特に 1 つの AP のカバーエリアが狭い無線 LAN システムを利用して移動通信を行う場合は，認証などの接続手続きに時間がかかりすぎると認証を終了するよりも先に移動体がカバーエリアを出てしまうということも考えられる．そこで，本研究ではその AP 切替時の通信の切断時間を短縮することを目的した．より具体的に述べると，AP 切替の中で特に切替先の AP を選択する動作と AP と接続するときの認証動作が切替動作全体の多くを占めている．本研究では無線 LAN ネットワークに SDN(Software Defined Network) の概念 [2][3] を用いることで，それら 2 つの切断時間を短縮し，移動通信における無線 LAN システム利用における問題を解決する．

2. 既存の無線 LAN 切替の問題点

本章では，無線 LAN の移動通信についての関連技術と，それらを用いた際に発生する AP の切り替えに対して現在行われている研究について述べる．無線 LAN システムを用いて移動体が通信を行う際には，それぞれの無線 LAN の AP がカバーするエリアから外れる際に次の AP へ切り替える必要が出てくる．AP を切り替えるためには，接続中の AP の切断，次に接続する AP へのプローブリクエスト，認証手続きを順に行う必要がある．

2.1 接続中の AP の切断

無線 LAN の AP が 100 ミリ秒ごとに送信しているビーコン信号を一定期間受信できなかった場合に，移動体は AP との通信が切断されたと認識し，次の AP を探すためにスキャンを開始する．このビーコン信号が受信できなかった際の許容期間はベンダー及び実装方法によって異なる．

2.2 次に接続する AP へのプローブリクエスト

移動体が無線 LANAP の情報を得るには，パッシブスキャンとアクティブスキャンの二通りの方法がある．

- パッシブスキャン
  AP の情報を得るために，AP からのビーコン信号の受信を待つ．
- アクティブスキャン
  情報を得たい AP に対してプローブリクエストと呼ばれる情報要求を行うメッセージを送信する．AP はこのプローブリクエストを受信すると，自身の情報をプローブレスポンスに記述して送信する．

いずれの方法においても，AP を切り替える際には一度接続中の AP との接続を切断してから次の AP へ認証を行う必要がある．したがって認証処理が完了するまでは通信が切断された状態になってしまう．それに加えてこの認証処理がカバーエリア内で完了しなかった場合は通信を行うことが出来ないということが問題として挙げられる．

3. 関連研究

本研究と同じ目的を達成するために幾つかの手法が研究されている．本論文では関連研究として二つの手法を挙げる．一つ目は AP 同士の連携の強化である [4]．この手法ではネットワーク内の AP が自身以外の AP の情報を提供し，事前に移動体が AP を認識することにより AP 切替の際の切断時間を短縮しようというものである．この手法では自身が接続している LAN 内の AP の情報しか得ることができない．このことから移動体が異なるネットワーク間の AP を切り替えようとする際にはこの方式は適用できない．

二つ目は，接続中の AP と通信が終了する前に AP のスキャンを行い，次の切替先 AP を選択しておくという手法である [5][6]．この手法では事前に自身の通信範囲内での AP をスキャンするために，移動先のまだ通信範囲に入っていない AP を次の切替候補として考慮できないという問題点がある．

4. 提案手法

4.1 概要

提案手法では，事前に切替え先の AP を選択し，接続に必要な認証手続きを実行する．これにより AP 切替時に発生する切断時間を短縮する．通信切断前に選択する AP の候補は移動体が直接スキャンするのではなく，AP の情報を保持しているサーバーから取得した情報をもとに選択する．動作の大まかな流れは以下のようになる．まず，移動体は次に接続を行う AP を自身の位置と速度から選択する．続いて移動体はその時点で接続を確立し通信を行っている AP を介して AP の管理を行っているコントローラーに対して次に接続を行う AP と接続に必要な情報の交換と認証の依頼を送信する．このようにして提案手法では切替時の切断時間を短縮する．

4.2 前提条件

本研究の実装環境ではすべての AP が SDN に対応していることを想定している．AP はコントローラによって管理されており，コントローラの指示によって認証などの処理が可能であるとする．

4.3 構成

以下に提案手法の構成を示す．(図 1)

- **移動体 (STA)**
  移動通信を行う STA は自身の位置情報を GPS などから取得する．
- **コントローラ (Controller)**
  SDN に対応したコントローラであり，ネットワーク内の AP を一括管理している．AP への認証要求を受け

© 2018 Information Processing Society of Japan

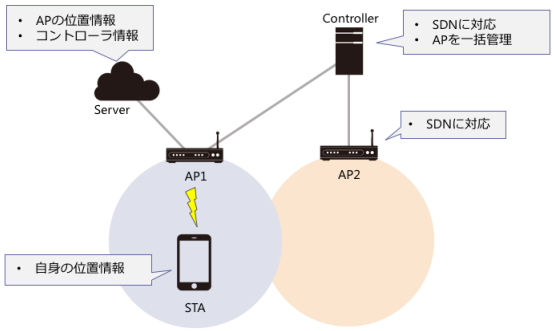

図 1　構成要素

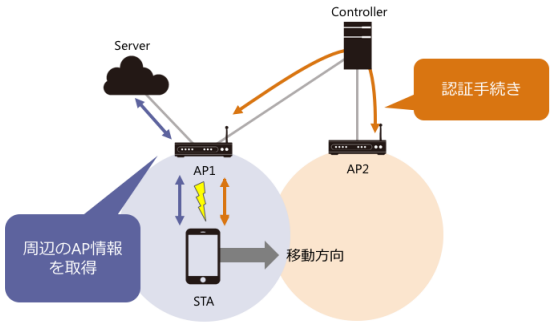

図 2　事前認証フェイズ

ると該当する AP へ認証の指示を行う．

- **アクセスポイント (AP)**
  SDN に対応した AP であり，Controller から認証の指示を受けると処理を実行する．
- **サーバー (Server)**
  AP の位置情報とそれを管理している Controller の情報を保持しており，STA からの要求を受けると位置情報に応じた AP の情報を提供する．

4.4　動作手順

提案手法の動作は大きく分けて 2 つのフェイズに分かれる．まず事前認証フェイズ，次いで切替フェイズである．この 2 つのフェイズの手順をそれぞれ述べる．

4.4.1　事前認証フェイズ

事前認証フェイズの流れを以下に示す (図 2)

(1) STA は自身の位置情報を算出する
(2) STA は接続中の AP を介して Server から周辺に存在する AP の情報を取得する
(3) STA は自身の位置と進行方向から次に接続を行う AP(切替後 AP) を選択する
(4) STA は Controller へ該当 AP との認証を要求する
(5) Controller は該当 AP へ認証の指示を送信する

4.4.2　切替フェイズ

切替フェイズの流れを以下に示す．(図 4) 前提として AP は常時ビーコン信号を周囲に配信している．

(1) STA はビーコン信号が BeaconWatchDogTimer が規定する値をタイムアウトした場合に，事前認証フェイズで選択した AP へプローブリクエストを送信する提案手法では BeaconWatchDogTimer の値を移動体が速度を持っている場合のみ，短縮することで切替前の AP との通信不能時間を短縮することで，通信切断時間を短縮している．
(2) 切替後 AP はプローブレスポンスを送信する
(3) STA はプローブレスポンスを受信すると，従来では行う必要があった 4 ウェイハンドシェイクなどの認証手続を事前に行っているため，省略して接続を行うことができる (認証の手続きは実装によって異なる．今回は WPA2 の 4 ウェイハンドシェイクを想定している．)

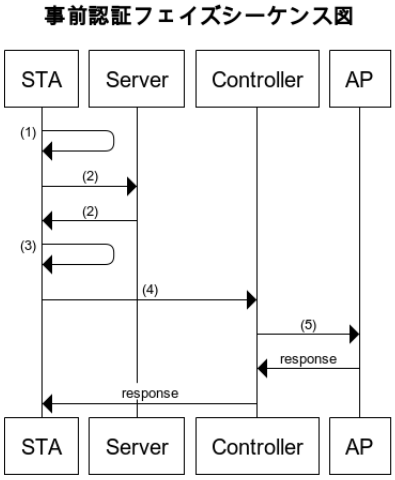

図 3　事前認証フェイズシーケンス図

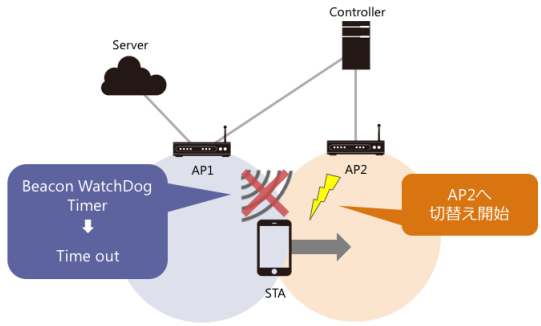

図 4　切替フェイズ

© 2018 Information Processing Society of Japan

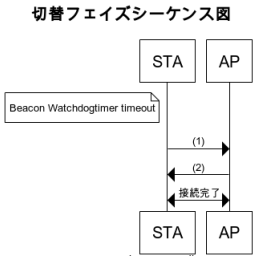

図 5　切替フェイズシーケンス図

表 1　評価環境

OS	Ubuntu14.04
CPU	intel core i7
memory	8GB
シミュレータ	NS3.22
伝搬遅延モデル	ConstantSpeedPropagationDelayModel
伝搬損失モデル	LogDistancePropagationLossModel
認証方式	WPA2

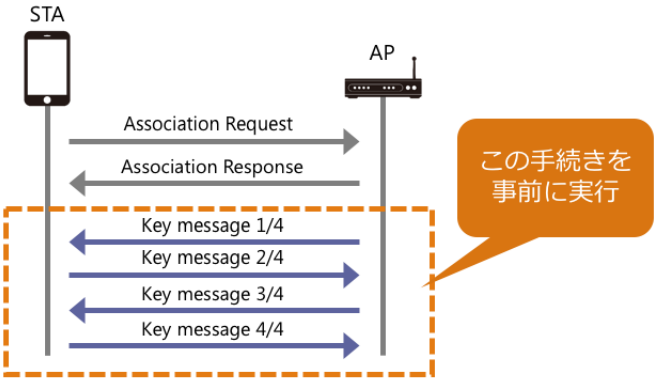

図 6　WPA2 のキーメッセージ交換

5. 評価

5.1 シミュレータ

本研究では，提案手法の性能評価にネットワークシミュレータである NS3 を利用した．NS3 上のネットワークノードのデータリンク層及びネットワーク層に提案手法のアルゴリズムを実装した．

5.2 想定ユースケース

移動通信が用いられるユースケースは様々考えられるが，今回は移動体として自動車を想定した．自動車での利用の中でも，いくつかの利用シーンが考えられる．それらを大まかに分類すると以下のようになる．

- 高速道路での利用
  高速道路での利用する場合は，移動速度が速く，車両密度は一般的に低い．
- 一般道での利用
  一般道で利用する場合は，移動速度が遅く，車密度は高速道路利用時と比較して高い．

上記の項目を考慮し，高速道路の車両密度が低い場合にはセルラネットワークを利用し，一般道で利用する車両密度が比較的高い場合に提案手法を利用することを想定した．

5.3 評価環境

評価環境は表 1 のようになっている．NS3 にデフォルトで Wi-Fi の切り替え (ハンドオフ) 機能が搭載されていないため，ns3-wifi-infra-handoff パッチを適用し，NS3 に Wi-Fi ハンドオフ機能を実装した．認証方式には現在最もセキュリティが強固であるとされている WPA2 を想定し，事前認証フェイズではその手続のうちのキーメッセージの交換を事前に行うとする (図 6)．

5.4 評価方法

評価に際して，NS3 上のネットワークノード内のデータリンク層を改変し，提案手法を仮想的に実装した．評価を行ったトポロジは図 7 のようになっている．移動体は複数の AP を切り替えながら移動を行い，その間に通信を行っているサーバーとの切断時間を基準として計測した．移動体の速度は 36km/h で一定とし，各 AP の間隔は 150m となっている．切断時間は一回の AP 切替によって発生するサーバーとの通信が行えない時間の平均とした．

提案手法の 2 つのフェイズである事前認証フェイズと切替フェイズのそれぞれの効果を測定するために 2 組の異なるパラメータの設定で行った結果を比較した．

5.4.1 事前認証フェイズの評価

評価の基準は上でも述べているとおり，AP 切替え時の切断時間で，以下の 2 つのパラメータ設定における評価結果を比較した．

- 従来手法
  従来の Wi-Fi 接続方法で，BeaconWatchdogTimer はデフォルトの値を使用
- 提案手法 (事前認証部のみ実装)
  接続前に提案手法で示した事前認証を行うが，Beacon-WatchdogTimer はデフォルトの値を使用

この 2 つの比較により，事前認証を行ったことによる切断時間の変化を計測し，事前認証フェイズの効果を測定した．

5.4.2 切替フェイズの評価

評価の基準は上記の事前認証フェイズと同じだが，比較するパラメータを以下のように変更し，切替フェイズの評価を行った．

- 提案手法 (事前認証部のみ実装)
  事前認証フェイズの評価でも用いたパラメータの設定で，事前認証部分のみ実装し，BeaconWatchdogTimer

© 2018 Information Processing Society of Japan

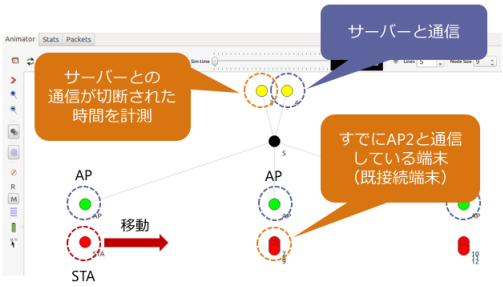

図 7　評価トポロジー

はデフォルト値を使用

- **提案手法**
  提案手法の部分で述べた 2 つのフェイズをどちらも実装した場合の評価

この 2 つの比較により，BeaconWatchdogTimer の短縮を行ったことによる切断時間の変化を計測し，事前認証フェイズの効果を測定した．

実際のシミュレーター内のトポロジは以下の図 7 のようになっている．

5.5　評価結果

シミュレーションによる評価結果を図 8，図 9 に示す．

図 8 は事前認証フェイズの評価結果を示しており，既接続端末数が増加した際の提案手法と従来手法のサーバーとの通信の切断時間のグラフである．これから読み取れる通り，従来手法と提案手法の両手法とも既接続端末数が増加するに連れて切断時間が増加しているということがわかる．これらの切断時間の増加は無線 LAN システムで用いられる CSMA/CA が影響していると考えられる．両手法とも既接続端末数の増加に比例して切断時間も増加しているが，提案手法の切断時間の増加は提案手法のものよりも緩やかであることが見て取れる．

図 9 は切替フェイズの評価結果を示しており，既接続端末数は事前認証フェイズの評価の際に最も切断時間の長かった 9 台を使用し，BeaconWatchdogTimer の値がデフォルトの 11 の場合と短縮した値である 5 の場合の切断時間の変化を示している．本実験では，AP は 100ms 周期でビーコン信号を発信しており，BeaconWatchdogTimer は規定の回数分のビーコンを受信できなかった場合にタイムアウトするものとした．

6.　考察

6.1　事前認証フェイズの評価結果の考察

事前認証フェイズの評価結果である図 8 から見て取れる通り，既接続端末数が増えるほど，従来手法と提案手法

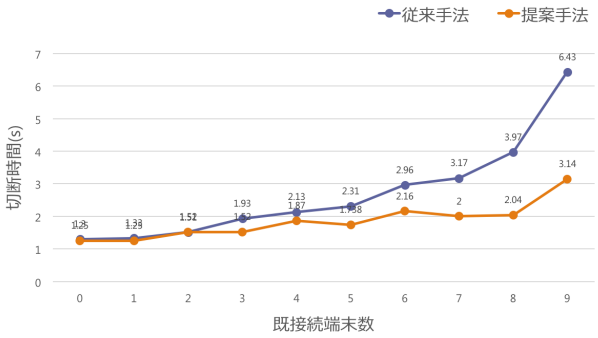

図 8　事前認証フェイズの評価結果

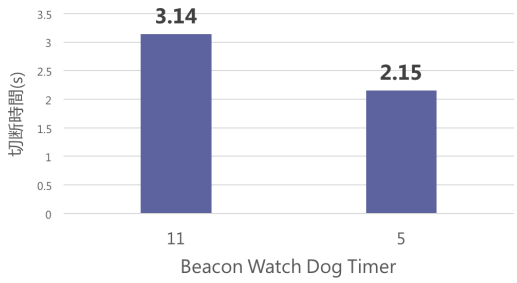

図 9　切替フェイズの評価結果

の両方式とも切断時間が増大している．しかし，既接続端末数が 2 以上の場合は，提案手法の切断時間が従来手法のものを下回っていることもわかる．これは事前認証フェイズにより接続時に必要な認証手続きを事前に行うことによって接続時に行う処理を減らしたことが影響していると考えられる．それに加えて，既接続端末数が増えるにつれて，提案手法と従来手法の切断時間の差が増大している．この結果から考察できることは，認証処理における最大のボトルネックは認証フレームを送信する際に発生する CSMA/CA の待ち時間であるということである．既接続端末数が増えると，端末の通信同士が衝突する確率があるため，CSMA/CA のバックオフタイムが大きくなるということである．CSMA/CA の衝突はタイミングに依存するため，評価結果にむらが生じたのだと考えられる．例として，提案手法の既接続端末数が 4 のときの切断時間よりも 5 のときの切断時間のほうが短くなっていることなどが挙げられる．

6.2　切替フェイズの評価結果の考察

切替フェイズの評価結果である図 8 から見て取れる通り，BeaconWatchDogTimer の値を短くすることによって切断時間を短縮することができた．この結果は，通信不能になった AP との接続を速やかに切断し，次の AP への切替に移ったことが影響していると考えられる．移動体通信を行う際には，移動体が AP とのコネクションを長く維持しようとすると，その AP 実際は既に通信可能範囲外にいた場

© 2018 Information Processing Society of Japan

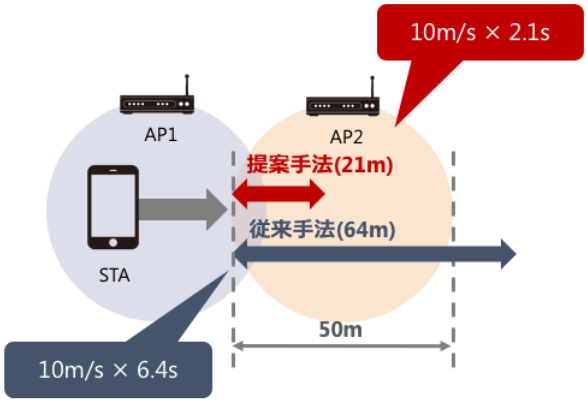

図 10　認証に必要な距離

合には切断時間を伸ばしてしまう原因となりうる．そこで，提案手法ではこれを防ぐために BeaconWatchDogTimer の短縮を行った．しかし，この BeaconWatchDogTimer を短縮するという手法には決定的なオーバヘッドが考えられる．それは，端末が移動を行っていない際に電波が一時的に悪くなった場合に，誤って切断をしてしまうということである．本研究ではこのオーバヘッドに対して，移動体が速度を持っている際にのみ BeaconWatchDogTimer の短縮を行うことで，このオーバヘッドを低減した．

6.3　認証の失敗についての考察

既存手法でも挙げた認証処理が完了するよりも先に移動体が AP のカバーエリアを出てしまうことで認証が失敗し，通信が行えないという問題点に関しては事前認証フェイズ，切替フェイズそれぞれの結果から図 10 で示されるように従来手法では認証で最大 6.43 秒を要することから一般的な公衆無線 LAN のカバーエリア 50m において認証を行う前にカバーエリアを出てしまい通信が行えない一方で，提案手法では最大でも 2.15 秒で認証が完了するということからカバーエリア内で認証を完了し通信を行うことができるようになった．

6.4　切替のタイミングについて

今回は接続している端末が自発的に BeaconWatchDogTimer 主導で切替のタイミングを決定した．しかし，LTE などのセルラネットワークでも基地局が端末の切替のタイミングを決定するという方式が採用されている．この方式を提案手法にも部分的に導入することで，SDN によるコントローラの一元管理の優位性が向上するのではないかと考える．

7.　おわりに

近年の移動体の通信に無線 LAN システムを利用するという動きが活発に行われており，今後もモバイルトラフィックにおける無線 LAN システムにオフロードされるトラフィックは増加傾向にあるということがわかっている．しかし，移動体の通信に無線 LAN システムを利用する際には幾つかの問題が発生する．無線 LAN システムを利用して移動体が通信を行う際の問題点として本研究では，AP 切替時の切断時間が発生するということを挙げた．この問題に対して提案手法では，移動体の位置速度を考慮して AP の切替を行った．具体的には提案手法は大きく 2 つのフェイズに分かれており，まず一つ目の事前認証フェイズで接続時に必要な認証の処理を事前に行う．この事前の認証処理に SDN の技術を用いた．二つ目の切替フェイズで BeaconWatchDogTimer を短縮し AP の切り替えを行った．これら二つのフェイズそれぞれの評価結果から提案手法により切断時間が短縮されている，つまり切替が効率化されたということが考察できた．そして，切替フェイズで考えられるオーバヘッドである誤切断も移動体の速度を考慮することにより解消されているということが考察できた．それらに加えて，従来手法では認証が完了するよりも前にカバーエリアを出てしまうような AP においても提案手法を用いることで通信が可能になるということを考察した．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16H02814 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Cisco, ”Visual Networking Index : 全世界のモバイル データ トラフィックの予測、2015 ～ 2020 年アップデート” https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html, (2017,10).

[2] Dong Zhao, Ming Zhu, Ming Xu, ”SDWLAN: A flexible architecture of enterprise WLAN for client-unaware fast AP handoff”, Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), (2014).

[3] M.Bernaschi, F.Cacace, G.Iannello, ”OpenCAPWAP,an open-source CAPWAP implementation for management and QoS support”, Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks, pp.74-77, (2008).

[4] Stefan Feirer, Thilo Sauter, ”Seamless handover in industrial WLAN using IEEE 802.11k”, Industrial Electronics (ISIE), pp.1234-1239, (2017)

[5] P.Macha, J.Wozniak, ”A lightweight algorithm for fast IEEE 802.11 handover”, Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), (2012).

[6] Doohyun Lee, Daehee Won, Md Jalil Piran, ”Reducing handover delays for seamless multimedia service in IEEE 802.11 networks”, Electronics Letters, pp.1100-1102, (2014)

© 2018 Information Processing Society of Japan