

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-200172
(P2017-200172A)

(43) 公開日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4W 28/18 (2009.01)	HO4W 28/18	5K067
HO4W 28/24 (2009.01)	HO4W 28/24	

審査請求 有 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-29727 (P2017-29727)	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成29年2月21日(2017.2.21)	(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(31) 優先権主張番号	1607355.3	(74) 代理人	100103034 弁理士 野河 信久
(32) 優先日	平成28年4月27日(2016.4.27)	(74) 代理人	100075672 弁理士 峰 隆司
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100153051 弁理士 河野 直樹
		(74) 代理人	100179062 弁理士 井上 正
		(74) 代理人	100189913 弁理士 鶴飼 健

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線アクセスネットワークにおける無線リソーススライシング

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】スライシングを用いて、複数の通信フローに無線リソースを提供する。

【解決手段】スライシングコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークにおいて、スライシングコントローラは、複数の基地局にとって利用可能である無線リソースを抽象化することと、抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、複数の基地局に無線リソース割り当てを通信することと、を備える。複数の基地局は、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有のカスタマイズを実行することをさらに備える。各スライスは、複数の通信フローのうちの1つまたは複数に適應する。

【選択図】図2a)

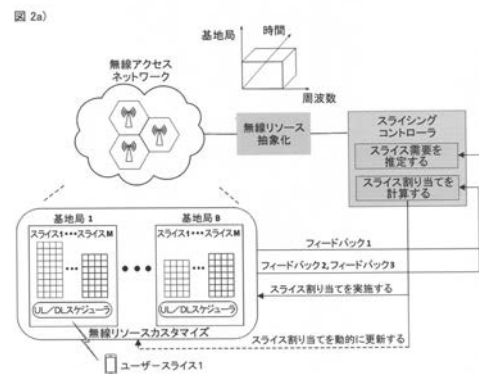


Figure 2a)

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークにおける複数の通信フローに無線リソースを提供する方法であって、

前記スライスコントローラにおいて、

前記複数の基地局にとって利用可能である無線リソースを抽象化することと、

前記抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは前記複数の通信フローのうちの1つまたは複数に適応し、

前記複数の基地局に前記無線リソース割り当てを通信することと、

前記複数の基地局において、

割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有のカスタマイズを実行することと、

を備える、方法。

10

【請求項 2】

前記複数の基地局は、i) 通信トラフィック需要に関する情報、および/または、ii) 1つもしくは複数のスライスの平均実効送信レート、および/または、iii) スライスにおいて使用される変調ならびに/もしくはコーディング方式、および/または、iv) 所与のスライスに関するリソースの帯域幅需要、および/または、v) 所与のスライスに割り当てられる無線リソースの現在の利用情報、ならびに/もしくは、合計ユーティリティならびに/もしくは平均実効送信レートを計算するために必要とされるパラメータ、を前記スライスコントローラに提供する、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 3】

前記スライスコントローラは、初期スライス割り当てを決定し、前記複数の基地局からのフィードバックに基づいて、強化学習を使用して、更新されたスライス割り当てを動的に決定する、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記初期スライス割り当ては、基地局から受信される前記スライスの平均実効送信レートのインジケーション、利用される変調ならびにコーディング方式、および送信に必要とされる帯域幅に基づいて、前記スライスコントローラによって決定される、請求項 3 に記載の方法。

30

【請求項 5】

スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークであって、前記複数の基地局は、前記スライスコントローラに、利用可能な無線リソースのインジケーションを送信するように構成されており、前記スライスコントローラは、

前記複数の基地局にとって利用可能な前記無線リソースを抽象化することと、

前記抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは1つまたは複数の通信フローに適応し、

前記複数の基地局に前記無線リソース割り当てを通信することと、

を行うように構成されており、

前記複数の基地局は、前記スライスコントローラから無線リソース割り当てを受信することと、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズを実行することと、を行うようにさらに構成されている、無線アクセスネットワーク。

40

【請求項 6】

前記スライスコントローラは、初期スライス割り当てを決定することと、前記複数の基地局からフィードバックを受信することと、前記受信されたフィードバックに基づいて、強化学習を使用して、更新されたスライス割り当てを動的に決定することと、前記更新されたスライス割り当てを前記基地局に送信することと、を行うようにさらに構成されている、請求項 5 に記載の無線アクセスネットワーク。

【請求項 7】

50

前記スライスコントローラは、前記無線アクセスネットワークを介して送信を行うことが要求される垂直アプリケーションの情報を記憶する垂直アプリケーションマッピングモジュール、および/または、前記RANのリアルタイムのグローバル情報を記憶している無線アクセスネットワーク知識ベースを備えるか、または前記垂直アプリケーションマッピングモジュールおよび/または前記無線アクセスネットワーク知識ベースに通信可能に接続されている、請求項5または6に記載の無線アクセスネットワーク。

【請求項8】

スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークにおいて使用するためのスライスコントローラであって、

前記複数の基地局にとって利用可能な無線リソースのインジケーションを受信することと、

10

前記利用可能な無線リソースを抽象化することと、

前記抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは1つまたは複数の通信フローに適応し、

割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズのために、前記複数の基地局に前記無線リソース割り当てを通信することと、

を行うように構成されている、スライスコントローラ。

【請求項9】

初期スライス割り当てを決定することと、前記複数の基地局からフィードバックを受信することと、前記受信されたフィードバックに基づいて、強化学習を使用して、更新されたスライス割り当てを動的に決定することと、前記更新されたスライス割り当てを前記基地局に送信することと、を行うようにさらに構成されている、請求項8に記載のスライスコントローラ。

20

【請求項10】

前記スライスコントローラは、前記無線アクセスネットワークを介して送信を行うことが要求される垂直アプリケーションの情報を記憶する垂直アプリケーションマッピングモジュール、および/または、前記RANのリアルタイムのグローバル情報を記憶している無線アクセスネットワーク知識ベースを備えるか、または前記垂直アプリケーションマッピングモジュールおよび/または前記無線アクセスネットワーク知識ベースに通信可能に接続されている、請求項8または9に記載のスライスコントローラ。

30

【請求項11】

スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークにおいて前記スライスコントローラを動作させる方法であって、

前記スライスコントローラにおいて、

前記複数の基地局にとって利用可能な無線リソースのインジケーションを受信することと、

前記利用可能な無線リソースを抽象化することと、

前記抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは1つまたは複数の通信フローに適応し、

割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズのために、前記複数の基地局に前記無線リソース割り当てを通信することと、

40

を備える、方法。

【請求項12】

1つまたは複数のプロセッサによって実行されると、前記1つまたは複数のプロセッサに、請求項1乃至4または11に記載の方法のうちのいずれか一項に記載のステップを実行させるコンピュータ実行可能命令を備える、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に説明される実施形態は、一般に、無線アクセスネットワークにおける無線リ

50

ソースの動的スライシング (dynamic slicing of radio resources) に関する。

【背景技術】

【0002】

将来の5Gセルラネットワークは、種々の垂直産業 (vertical industries) に及び、様々な使用事例をサポートすると予測されている。これらの使用事例のすべてが同じサービス要件を共有するとは限らない可能性がある。従来の「汎用的な (one-size-fits-all)」のセルラ手法は、これらのサービス要件を確実に満たすことができない可能性がある。それゆえ、5Gネットワークに関する主要なチャレンジのうちの1つは、共通の物理的インフラストラクチャに基づいて、1つのネットワークが種々の垂直アプリケーションセクタの間でどのように効率的に共有され得るかということである。

10

【0003】

必要とされる設計柔軟性を提供するためには、将来の5Gセルラネットワークにおいて「ネットワークスライシング」が不可欠になる可能性がある。現在産業界は考えている。ネットワークスライシングは、共通の物理的インフラストラクチャの上に複数の論理ネットワークを形成する。これらのネットワークの各々は、使用事例の特定のニーズに対して調整されるか、または、調整され得る。ネットワークスライシングは、無線アクセス (ワイヤレス) ネットワークとコア (ワイヤード) ネットワークの両方のスライシングを含む。

【0004】

無線リソーススライシングは、無線リソースの仮想化を通じて可能にされ得る。そのような仮想化ベースの無線リソーススライシングは、厳密な分離を達成し、アプリケーション特有のカスタマイズを提供し、複数の異なる無線スライスにわたる効率的な利用を保証することが可能でなければならない。ワイヤード領域における仮想化と比較すると、ワイヤレス / 無線リソースを仮想化するときには固有のチャレンジが発生する。第1に、帯域幅ベースの予約とリソースベースの予約との共存は、単純なことではない。これは、所与の量の無線リソースからのスライスによって達成される帯域幅が、ユーザのチャンネル品質とともに直接的に変動するためである。第2に、トラフィックがユーザデバイスにおいて始まるという事実に起因して、アップリンクトラフィックが、複数のスライスにまたがる分離と高い利用度という相反する目標の達成を困難にする。第3に、そうでなければ基地局の利用が影響を受けることになるため、適切に考慮されなければならない再送信に起因して、ワイヤレスネットワークは著しいオーバヘッドをしばしば招く。

20

30

【0005】

以下において、図面を参照して実施形態が説明される。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1は、一実施形態の全体的なブロック / 流れ図を示す。

【図2a)】図2(a)は、ULがアップリンクトラフィックを示し、DLがダウンリンクトラフィックを示す、セルラアクセスネットワークにおける無線リソーススライシングのアーキテクチャを示す。

【図2b)】図2(b)は、一実施形態の無線リソーススライシング方法を示す。

40

【図3】図3は、最適な無線リソーススライシング戦略を発見するためのステップを示す。

【図4】図4は、強化学習ベースのスライシング戦略 (a reinforced learning based slicing strategy) を示す。

【図5】図5は、一実施形態の初期リソーススライシングのアルゴリズムを示す。

【図6】図6は、実施形態の複数の異なるエンティティ間のメッセージ交換を示す。

【図7】図7は、一実施形態のアーキテクチャの論理表現を提供する。

【図8】図8は、全体的な無線リソースプール利用のC-CDFに関するシミュレーション結果を示す。

【図9】図9は、複数の異なるスライスのスライス割り当て要件 (slice allocation req

50

uirements) がどれだけ良好に満たされているかを評価する (measures)、スライス予約インデックス (SRI: slice reservation index) のシミュレートされた C - CDF を示す。

【図 10】図 10 は、合計ユーティリティのシミュレートされた C - CDF を示す。

【発明を実施するための形態】

【0007】

一実施形態によれば、スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークにおける複数の通信フローに無線リソース (radio resources) を提供する方法が提供される。方法は、スライスコントローラにおいて、複数の基地局にとって利用可能である無線リソースを抽象化することと、抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることを備える。各スライスは、複数の通信フローのうちの一つまたは複数に適応する (accommodates)。無線リソース割り当ては、複数の基地局に通信される。方法は、複数の基地局において、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有のカスタマイズを実行することをさらに備える。

【0008】

複数の基地局は、利用可能な無線リソースの情報をスケジューラに提供する。一実施形態において、それは抽象化されている無線リソースのみであること、および基地局の抽象化は行われなことが強調される。一実施形態において、割り当てられた無線リソースのカスタマイズは、自由に / スケジューラから影響を受けることなく行われる。これは、スケジューリングの利益を最大にし、(たとえば、触覚通信 (haptic communication) に適応するために) 無線リソーススケジューリングにおいてさらなるイノベーションのための余地を残し、レガシー基地局に対するプロトコル修正の必要なしに、スライシングコントローラと組み合わせてレガシー基地局を使用することを可能とする。これは、実施形態の実施を容易にする。

【0009】

基地局による無線リソースのアプリケーション特有のカスタマイズは、無線リソースのアップリンクおよび / またはダウンリンクのカスタマイズを含み得る。

【0010】

実施形態において、スライスは、割り当てられると、それが割り当てられたアプリケーションに専用のものである。

【0011】

実施形態は、複数のスライス間の分離を保証し、それによってサービス品質の低下を回避するためのアドミッション制御メカニズム (admission control mechanisms) を用いる必要がない。

【0012】

一実施形態において、複数の基地局は、i) 通信トラフィック需要に関する情報、および / または、ii) 一つもしくは複数のスライスの平均実効送信レート (an average effective transmission rate)、および / または、iii) スライスにおいて使用される変動ならびに / もしくはコーディング方式、および / または、iv) 所与のスライスに関するリソースの帯域幅需要、および / または、v) 所与のスライスに割り当てられる無線リソースの現在の利用情報、ならびに / もしくは、合計ユーティリティならびに / もしくは平均実効送信レートを計算するために必要とされるパラメータ、をスライスコントローラに提供する。

【0013】

一実施形態において、スライスコントローラは、初期スライス割り当てを決定し、複数の基地局からのフィードバックに基づいて、強化学習を使用して、更新されたスライス割り当てを動的に決定する。

【0014】

強化学習を使用することは、各スライスについて独立したスライシングメカニズム / スライシング期間を開発することを可能にする。これは、単一の固定スライシング期間の選

10

20

30

40

50

択が準最適な結果 (sub-optimal results) をもたらすことになる、ワイヤレス環境の高度に動的な性質に対処することを可能にする。強化学習を使用することを通じて、高度に動的なワイヤレス環境であっても高度なリソース利用が達成される。

【0015】

一実施形態において、スライシングコントローラは、アプリケーションをランク付けし、無線リソースが割り当てられることになっている他のアプリケーションよりも高くランク付けされている1つまたは複数のアプリケーションに対して無線リソースの割り当てを優先するように構成されている。

【0016】

一実施形態において、初期スライス割り当ては、基地局から受信されるスライスの平均実効送信レートのインジケーション、利用される変調ならびにコーディング方式および送信に必要とされる帯域幅に基づいて、スライスコントローラによって決定される。

【0017】

別の実施形態において、スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワークが提供される。複数の基地局は、スライスコントローラに、利用可能な無線リソースのインジケーションを送信するように構成されている。スライスコントローラは、複数の基地局にとって利用可能な無線リソースを抽象化することと、抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、を行うように構成されている。各スライスは、1つまたは複数の通信フローに適応する。スライスコントローラは、複数の基地局に無線リソース割り当てを通信するようにさらに構成されている。複数の基地局は、スライスコントローラから無線リソース割り当てを受信することと、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズを実行することと、を行うように構成されている。

【0018】

一実施形態において、スライスコントローラは、初期スライス割り当てを決定することと、複数の基地局からフィードバックを受信することと、受信されたフィードバックに基づいて、強化学習を使用して、更新されたスライス割り当てを動的に決定することと、更新されたスライス割り当てを基地局に送信することと、を行うようにさらに構成されている。

【0019】

一実施形態において、スライスコントローラは、無線アクセスネットワークを介して送信を行うことが要求される垂直アプリケーションの情報を記憶する垂直アプリケーションマッピングモジュール、および/または、RANのリアルタイムのグローバル情報を記憶している無線アクセスネットワーク知識ベースを備えるか、または垂直アプリケーションマッピングモジュールおよび/または無線アクセスネットワーク知識ベースに通信可能に接続されている。

【0020】

別の実施形態によれば、スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセスネットワーク内で使用するためのスライスコントローラが提供される。スライスコントローラは、複数の基地局にとって利用可能な無線リソースのインジケーションを受信することと、利用可能な無線リソースを抽象化することと、抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは1つまたは複数の通信フローに適応し、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズのために、複数の基地局に無線リソース割り当てを通信することと、を行うように構成されている。

【0021】

一実施形態において、現在の利用が、使用されているリソースユニットと、割り当てられているリソースユニットとの比として測定される。

【0022】

別の実施形態によれば、スライスコントローラと、複数の基地局とを備える無線アクセ

10

20

30

40

50

ネットワークにおいてスライスコントローラを動作させる方法が提供される。方法は、スライスコントローラにおいて、複数の基地局にとって利用可能な無線リソースのインジケーションを受信することと、利用可能な無線リソースを抽象化することと、抽象化された無線リソースを複数の分離されたスライスに動的に割り当てることと、各スライスは1つまたは複数の通信フローに適応し、割り当てられたスライス内で無線リソースのアプリケーション特有の独立したカスタマイズのために、複数の基地局に無線リソース割り当てを通信することと、を備える。

【0023】

別の実施形態によれば、1つまたは複数のプロセッサによって実行されると、1つまたは複数のプロセッサに、上述されている方法のうちのいずれかのステップを実行させるコンピュータ実行可能命令を備えるコンピュータプログラム製品が提供される。

10

【0024】

5Gセルラネットワークは、それらすべてが同じサービス要件を共有するとは限らない種々の垂直産業に及ぶ、様々な使用事例をサポートすることになる。1つのチャレンジは、共通の物理的インフラストラクチャに基づいて、1つのネットワークが種々の垂直アプリケーション間でどのように効率的に共有され得るかということである。5Gネットワークは、種々の垂直アプリケーションの要件を満足させるように柔軟に設計されなければならないと考えられている。そのような柔軟性は「ネットワークスライシング」を通じて可能となり、ネットワークスライシングは、個々の分離された仮想ネットワーク/ネットワークスライスに利用可能な無線リソースを割り当てることによって、共通の物理的インフラストラクチャの上に複数の論理ネットワークを形成し、各ネットワークは使用事例の特定のニーズに向けて調整されている。ソフトウェア定義ネットワークング(SDN: Software-Defined Networking)およびネットワーク機能仮想化(NFV: Network Function Virtualization)技術が、ネットワークスライシングの実現において役割を果たす可能性がある。ネットワークスライシングは、無線アクセスネットワークとコアネットワークの両方をスライシングすることを含む。無線リソーススライシングに関する1つのチャレンジは、厳密な分離を保証し、アプリケーション特有のカスタマイズを提供し、動的に変化するワイヤレス環境において複数の異なるスライスにわたる効率的な利用を保証することである。

20

【0025】

以下の理由から、5Gにとって無線リソーススライシングが特に重要であることが認識されている。

30

- ・無線リソーススライシングは、無線リソースが、外部の競合なく(without any external competition)重要なアプリケーションに割り当てられることを保証する。別個の無線スライスがそのようなアプリケーションに割り当てられ得、それは、いかなる進行中の動作に対しても専用のままである。

- ・無線リソーススライシングは、アプリケーション特有の無線リソーススケジューリングアルゴリズムの実施を可能にする。

- ・割り当てられたスライスは残りの無線リソースから分離されているため、そのような無線リソーススライシングは、様々なアプリケーションのためにセキュアなリソース割り当てを可能にする。

40

- ・無線リソーススライシングは、様々なソフトウェア定義ネットワークングおよび無線アクセスネットワーク(RAN)のためのクラウドベースのアーキテクチャ手法(architectural approaches)に対する自然なソリューションをもたらしており、それは、5Gネットワークの設計にはますます人気(popularity)を獲得している。

【0026】

無線リソーススライシングを達成する1つの方法は、基地局レベルにおけるリソースの独立したスライシングによるものである。しかしながら、そのような技法は、様々な制約を有する。第1に、それらの技法は、レガシー基地局スケジューラに対する修正を必要とする。第2に、リソース利用の観点から、ユーザ分布、平均ユーザチャネル状態、および

50

ユーザトラフィック要件が微細な時間スケールでは基地局間で大きく変化し得るため、そのような手法は準最適に実行する。

【0027】

それゆえ、有効なRANスライシングを作り出すためには、複数の基地局にわたるネットワーク規模の無線リソーススライシングがはるかにより魅力的であることが認識されている。そのようなネットワーク規模の無線リソーススライシングは、基地局のセットにわたるリソースの動的な割り当てを提供するだけでなく、レガシー基地局に対して最小限の変更を必要とすることによって、広範囲の採用についてフットプリントも最小限に維持する。ネットワーク規模の無線リソーススライシングは、論理的には、モバイルネットワーク階層内で（基地局と比較して）より高いレベルに位置するエンティティにおいて達成され得ることが留意されるべきである。

10

【0028】

一実施形態において、以下のステップが実行される。

a) 無線リソースの抽象化 - 無線リソースのみが抽象化され、基地局全体 (complete base station) が抽象化されるのではない。これは、実施のためのレガシーLTE (登録商標) - A (ロングタームエボリューション - アドバンスド) セルラ規格に対する最小限の変更を保証する。

b) 動的リソーススライシング - 強化学習 (RL) 手法に基づいて、動的無線リソーススライシング戦略が提供される。この手法は、スライスダイナミクス (slice dynamics) を暗黙的に考慮に入れる。スライシングエンティティ (スライシングコントローラ) は、各スライスの最適なサイズを学習するだけでなく、その動的な更新も行う。

20

c) 基地局におけるカスタマイズ - 基地局のスケジューリング決定は、直接的にも間接的にも影響を受けない。スライスのカスタマイズは、基地局に委ねられる。この手法は結果として、種々のアプリケーションに関するスケジューリング決定をよりロバストにする。

d) 最小限のアーキテクチャ強化 (Minimal Architectural Enhancements) - 最小限のアーキテクチャ強化が必要とされる。実施形態は、無線アクセスネットワーク (RAN) のエッジに近い任意の標準的なクラウドコンピューティングインフラストラクチャにおいて容易に実施されることができ。

30

【0029】

無線リソーススライシングフレームワーク

概略

一実施形態の高レベルブロック/流れ図が、図1に与えられている。同図に示されているように、実施形態は、セルラ無線アクセスネットワークにおいてネットワーク規模の無線リソーススライシングを達成するための方法を提供する。実施形態は、無線アクセスネットワークのエッジにある装置において展開される中央ソリューションを提供する。実施形態は、RANのエッジにより近い任意の標準的なモバイルエッジコンピューティングインフラストラクチャにおいて容易に実施され得る。RANエッジは、低レイテンシ (low latency) のサービス環境をもたらし、スライシングコントローラによる利用のためのリアルタイムネットワーク情報への直接アクセスを提供する。

40

【0030】

セルラ無線アクセスネットワーク内の基地局は、ネットワーク内で利用可能な無線リソースを共有する。図1の最上部にある中央の長方形の中に示されているような、RANの総無線リソース (aggregate radio resources) をスライシングするための実施形態の方法を使用して、無線リソースがスライシングされる。

【0031】

方法は、すべての垂直アプリケーション/通信フローについての全体的な無線リソース要件を推定し、この推定に基づいてリソーススライシング戦略を開発する。それは、その後、方法によって中央で割り当てられたスライス内で無線リソースのカスタマイズを実行するために、基地局に委ねられる。

50

【 0 0 3 2 】

実施形態において、方法は、すべての垂直アプリケーションについての全体的な無線リソース要件を推定し、無線アクセスネットワークの一部を形成する基地局を考慮に入れて、利用可能な無線リソースを抽象化し、無線リソースを動的に割り当てることを可能にするための強化学習手法のための基礎としてセミマルコフ決定プロセス (S M D P) モデルを定義し、したがって、最適化されたスライシングポリシーを形成する。無線アクセスネットワークの基地局自体はまた仮想化もされないように、スライスに無線リソースを割り当てるプロセスから独立した形で、割り当てられたスライス内での無線リソースのカスタマイズを実行するのが基地局であることが強調される。これは、それがレガシー基地局を使用できるようにするため有利である。

10

【 0 0 3 3 】

図 2 に示されているように、実施形態は、一般的な 5 G セルラネットワーク内にスライシングコントローラを提供する。このスライシングコントローラは、無線リソーススライシングの役割を担い、各基地局におけるすべての垂直アプリケーションのために無線リソースを動的に割り当てる。基地局はその後、垂直アプリケーションの要件に従って、割り当てられた無線リソースの自律的なカスタマイズを実行する。基地局はまた、スライス内でデータを送信するために使用される電力を独立して制御し、ネットワークのユーザにランダムなアクセスを許可し、送信セッションを確立する役割をも担い得る。スライシングコントローラは、スライスについての全体的なリソース要件を推定するために、基地局からフィードバック (図 2 (a) 内のフィードバック 1) を得る。

20

【 0 0 3 4 】

スライシングコントローラは最初に、無線リソースプールの全体的な利用度およびスライスのサービス品質要件に基づいて、スライスについてのスライス割り当てを計算する。初期スライス割り当てを計算するために、スライシングコントローラは、無線アクセスネットワークからフィードバック (図 2 (a) 内のフィードバック 2 および 3) を得る。スライシングコントローラは、離散的な時間ステップにわたってスライス割り当てを動的に更新する。

【 0 0 3 5 】

スライシングコントローラによって行われる一連のステップが、以下においてより詳細に説明される。

30

【 0 0 3 6 】

ステップ 1 : 無線リソース抽象化

5 G ネットワークが「 B 」個の基地局を備え、「 M 」個の異なる垂直アプリケーションをサポートする必要がある場合、 M 個の異なる無線リソーススライスが必要とされる。「 X 」が、全部の無線リソースプールを示すものとする。全部の無線リソースプールは、種々の方法で抽象化され得る。この実施形態においては、無線リソースは、3次元 (3 D) リソースグリッドを通じて抽象化され、ここにおいて、無線リソースは、図 2 (a) に示されているように、時間領域、周波数領域、および空間 (基地局) 領域において分散される。

【 0 0 3 7 】

40

ステップ 2 : ワイヤレス環境の S M D P モデル

この実施形態においては、最適化されたスライシングポリシーを決定するために、強化学習 (R L) 方法が使用される。強化学習方法は、マルコフ決定プロセスまたはその変形形態に適用可能である。スライスダイナミクスを考慮に入れるために、実施形態は最初に、ワイヤレス環境に特に適しているセミマルコフ決定プロセス (S M D P) として無線リソースをモデル化する。スライシングコントローラのワイヤレス環境との相互作用は、 S M D P モデルにおいて以下のように表される。

- ・状態：スライスの (1 つまたは複数の) 状態が、3つのパラメータ、すなわち、リソース割り当て、合計ユーティリティ、およびリソース利用度によって表される。
- ・アクション：各状態において、スライシングコントローラによってアクション (a) が

50

実行される。しかしながら、所与の状態においてすべてのアクションが実現可能であるとは限らない。スライシングコントローラによって行われるアクションは、 x 番目のリソースユニット（スライスについて可能な最小のリソース割り当て）が、 b 番目の基地局における m 番目のスライスに割り当てられるか否かを保証する。

・遷移確率：ワイヤレス環境がアクションを感知し、新たな状態 s^* に遷移する。状態ダイナミクスは、遷移確率 $P(s, s^*)$ によって特徴付けられる。

・報酬関数 (Reward Function)：状態遷移は、 m 番目のスライスについての報酬 (R) をもたらす。この報酬は、スライシングコントローラにフィードバックされる (図 1 参照)。一実施形態において、報酬関数 R は、以下のように、スライスユーティリティとスライス利用関数との和として表される。

【数 1】

$$R(s,a) = c_1 \cdot U(s,a) + c_2 \cdot \psi(s,a) \quad (1)$$

ここで、 $U(s, a)$ および $\psi(s, a)$ はそれぞれ、状態 s におけるアクション a のトリガと関連付けられた合計ユーティリティおよびリソース利用度を示し、 c_1 および c_2 は、 $[0, 1]$ 内の定数であり、合計ユーティリティおよびリソース利用を平衡させること (balancing) を可能にする。合計ユーティリティを定量化するための関数の選択は、この好ましい実施形態に限定していない。

【0038】

スライシングコントローラの最終的な目的は、各状態に対して予測される長期的なディスカウントされた報酬 (expected long-term discounted reward) を最大化する、最適なスライシング戦略 (それは状態のセットからアクションのセットへのマッピングである) を発見することである。一実施形態において、これは SMDP モデルを使用して達成される。状態遷移確率は、トラフィック負荷、ユーザ到着レート (user arrival and departure rates)、セッションおよびモビリティ管理アルゴリズムおよび / またはプロトコルなどのような複数のファクタに依存し、それゆえ、ワイヤレス環境では容易に得られないことがある。このコンテキストにおいては、強化学習が、報酬 / 費用の予測および状態遷移確率がアприオリに (a priori) 知られていることを必要としないため、最適なスライシング戦略を導き出すのに特に適していることが見出されている。様々な既存の強化学習アルゴリズムの中で、Q 学習 (Q-learning) がその単純さのために選択される。しかしながら、他の強化学習技法が使用されることができ、実施形態は Q 学習に限定されない。

【0039】

ステップ 3：状態初期化

スライシングコントローラは、持続時間 T の離散的な時間ステップにわたってワイヤレス環境と相互に作用する (interacts)。持続時間 T は、図 3 および図 4 に示されているプロセスの 1 回の反復のために固定であり、後の反復において変更され得る。実施形態は、各状態のアクション値関数 (action-value function) (すなわち、Q 学習が使用される実施形態においては Q 値 (Q-value)) を最大化する最適な戦略を発見するように試行する。Q 学習によって、スライシングコントローラは、利用可能な情報に基づいて、最適な Q 値を繰り返し学習する。全体的なスライシング戦略が図 3 および図 4 に示されており、ここにおいて、 R_T は単一時間ステップ報酬 (single time-step reward) を示し、 R^* は、すべての単一時間ステップ報酬の累積を示し、 ψ は、ディスカウントファクタを示す。

【0040】

最初、Q 値はゼロに設定される。Q 学習アルゴリズムを適用する前に、スライシングコントローラは、図 2 (a) に示されているフィードバック 1 を通じて受信されるような各スライスについてのトラフィック需要推定に基づいて、複数の異なるスライスのために初期スライス割り当てを実行する。この実施形態において、各スライスに対するリソースの帯域幅ベースのプロビジョニング (provisioning) とリソースベースのプロビジョニングとの組み合わせが使用されるが、他の実施形態においては他の手法が使用され得る。帯域

幅ベースの手法では、各スライスへのリソース割り当ては、そのスライスのフローによって得られる総スループットに関して定義される。帯域幅ベースの要件からリソースベースの要件への変換が、図5に示されている。リソースベースの手法は、リソース全体の一部分 (a fraction) を各スライスに割り当てる。

【0041】

初期スライシングは、基地局からのフィードバック1に基づいて実行される。

【数2】

$$F_j^m$$

が、b番目の基地局におけるm番目のスライスに関するフローのセットを示すものとする。さらに、 G_j が、j番目のフローについて必要とされる最小の帯域幅を示すものとする。m番目のスライスに対する全体的な帯域幅需要は、

【数3】

$$W_B^m = \sum_b \sum_{j \in F^m} G_j$$

によって与えられる。リソースベースのプロビジョニングの場合、フィードバック1は、全体的なリソースプールからのリソースの一部分に関する需要を含む。

【0042】

スライスの帯域幅要件は、スライスの送信レートに従って無線リソース要件に変換される。スライスの送信レートはベースレートを通じて決定され、ベースレートは、サポートされている最低次の (lowest order) 変調およびコーディング方式 (MCS) に基づく、基地局によってサポートされている最小レートを指す。ベースレートおよびサポートされている最低次のMCSに関する情報はアプリオリに知られており、フィードバック1に組み込まれている。スライシングコントローラは、全体的なリソース需要に比例して、複数の異なるスライスにリソースユニットを割り当てる。初期リソーススライシングは図5に示されており、ここにおいて、 X は全部のリソースプールを示し、

【数4】

$$W_B^m$$

は帯域幅ベースのプロビジョニングを示し、

【数5】

$$W_R^m$$

はリソースベースのプロビジョニングを示し、 R_m はm番目のスライスに関する送信レートを示し、 i は、MCSインデックスを示す。

【0043】

ステップ4：最適な戦略の導出

スライシングコントローラは、固定持続時間Tの離散的な時間ステップにわたってワイヤレス環境と相互に作用する。初期スライス割り当ての後、スライシングコントローラは、グリーディ戦略 (greedy strategy) に基づいて2つの異なるタイプのアクションを実行する。この戦略は、確率による探索モードにおいて動作し、すなわち、その将来の決定を強化するために可能なアクションのうちの1つをランダムに選択する。この実施形態において、スケジューラは、それが過去に試行して有効であることが分かっているアクションを選好する利用モードで動作するようにさらに構成されている。利用モードでは、確率 (1 -) が使用される。分離を維持するために、スライシングコントローラは、同じリソースユニットが2つの異なるスライスに割り当てられないことを保証するように構成されている。これは、バイナリ制約を通じて保証される。

【0044】

各スライスの状態が、各時間ステップにおいて観測される。ネットワークが状態sにある場合は、アクションaが維持され、単一時間ステップ報酬のディスカウントされた累積

10

20

30

40

50

が更新される。しかしながら、スライスの状態が s^* に変化した場合、アクション a は終了され、学習期間の終わりまで Q 値が更新される。

【0045】

Q 学習によって、スライシングコントローラは、最適な戦略を繰り返し学習する。各スライスの状態が、各時間ステップにおいて観測される。時間ステップ $time$ において、状態 s にあるスライシングコントローラは、アクション a を選択する。結果として、スライシングコントローラは、持続時間 T にわたってアクション a を実行している間に受信される、すべての単一時間ステップ報酬 R_T のディスカウントされた累積を指す報酬 R^* を得る。時間ステップ $time + v$ (アクションはいくつかの時間ステップに及ぶ可能性があるため) において、ネットワークが状態 s にある場合、アクション a が維持され、すべての単一時間ステップ報酬のディスカウントされた累積が更新される。しかしながら、スライス状態が s^* に変化した場合、アクション a は終了され、学習期間の終わりまで Q 値が更新される。

10

【0046】

式(1)によって与えられる報酬関数は、ユーティリティ項および利用項を備えることに留意されたい。この点において、フィードバック2および3(図2(a)参照)は、スライシング戦略を定期的に更新するために必要な情報を、スライシングコントローラに提供する。フィードバック2は、基地局において m 番目のスライスに割り当てられた無線リソースの現在の利用度を提供する。リソース利用度は、割り当てられているリソースユニットに対する使用されているリソースユニットの比として測定される。フィードバック3は、スライスの合計ユーティリティを計算するために必要なパラメータを提供する。レートベースのユーティリティの場合、フィードバック3は、 m 番目のスライスについての平均実効送信レートを提供する。スライシングコントローラは、それを、特定のユーティリティ関数にマッピングする。一実施形態において、

20

【数6】

$$U(\text{rate}) = 1 / (1 + \exp(-c_3(\text{rate} - c_4)) \quad (2)$$

によって与えられるシグモイド (sigmoid) ユーティリティ関数が採用される。 c_3 および c_4 は、 $[0, 1]$ 内の定数である。他方、遅延ベースのユーティリティが以下のユーティリティ関数によって与えられる。

30

【数7】

$$U(\text{delay}) = -c_5 \times \tanh(0.5 \times \text{delay} - 1.35) \quad (3)$$

ここで、 c_5 は $[0, 1]$ 内の定数である。

【0047】

ステップ5：無線リソースのカスタマイズ

基地局は、垂直アプリケーションのために、割り当てられたスライス内で無線リソースのカスタマイズを実行する。カスタマイズは、アップリンクおよびダウンリンクのトラフィックに対して、アプリケーション特有の無線リソーススケジューリングアルゴリズムを実施することを意味する。スライスは残りのリソースプールから分離されているため、そのようなスライス特有のカスタマイズを通じて最適なスケジューリングが達成され得る。この実施形態において、スライス内での割り当てられた無線リソースのカスタマイズは、独立して基地局に委ねられる。独立したカスタマイズは基地局において行われるが、スライシングコントローラが、そのユーティリティ要件に基づいてスライスに無線リソースを割り当てることが留意されるべきである。

40

【0048】

この実施形態における複数の異なるエンティティ間のメッセージの交換が、図6に示されている。見てとれるように、初期スライス割り当ては、基地局から受信されるフィードバック1に基づく。基地局は、スライスコントローラによってスライスに割り当てられる無線リソースを使用してスライス内で無線リソースをカスタマイズし、必要とされるダウ

50

ンリンクおよびアップリンクスケジューリングを独立して実行する。基地局の動作中にフィードバック 2 および 3 が提供され、上記のようにスライス割り当てが変更される必要があると決定される場合、スライシングコントローラは、さらなる使用のために基地局に更新されたスライス割り当てを提供する。

【 0 0 4 9 】

アーキテクチャ態様

この実施形態は、図 7 に示されているような集中型アーキテクチャ手法を使用する。アーキテクチャは、3つの主要構成要素、すなわち、スライシングコントローラ、抽象化モジュール、および仮想ネットワーク機能(VNF)オーケストレーションモジュール(Orchestration Module)を備える。スライシングコントローラは、スライスマネージャ、ワイヤレスリソースマネージャ(WRM)、仮想アプリケーションマッピング(VAM: Vertical Application Mapping)モジュール、およびRAN知識ベースから構成される。

10

【 0 0 5 0 】

抽象化モジュールは、仮想化された無線リソースプールを形成するために、共通の物理的インフラストラクチャの上に抽象化層を加える。全体的な無線リソースプールは、種々の方法で抽象化され得ることに留意されたい。上述した3Dリソースグリッドを形成することに代えて、基地局のクラスタが形成されることができ、たとえば、3Dリソースグリッドを使用することによって、各クラスタ内で利用可能なリソースが抽象化され得る。上記で論じられているように、この実施形態は、3Dリソースグリッド抽象化を使用し、無線リソースが時間領域、周波数領域および空間(基地局)領域に分散されている。抽象化のレベルは無線リソースに限定され、基地局全体には及ばないことが再び強調される。抽象化モジュールは、2つの個別のAPI(アプリケーションプログラミングインターフェース)、すなわち、物理的インフラストラクチャのためのRAN API、および、スライシングコントローラのためのコントローラAPIから構成される。APIsは、スライシングコントローラとRANとの間のそれぞれの双方向通信のためのインターフェースを提供する。スライシングコントローラは、RAN APIを通じてRANにスライシング決定を通信するように構成されている。同様に、コントローラAPIは、スライシング決定のために必要とされるフィードバック1、2、および3を提供する。

20

【 0 0 5 1 】

スライシングコントローラは、RAN知識ベースにおけるRANのグローバルビュー(global view)を保持するように構成されている。スライシングコントローラは、RANに関係するデータを受信し、RAN知識ベースを更新するために受信されたデータを使用するように構成された入力を用意する。スライシングコントローラは、それを通じてスライシングコントローラが、上記で説明されたように無線リソースのために最適化されたスライシング戦略を提供するように構成されるインターフェースをさらに備える。垂直アプリケーションマッピング(VAM)モジュールは、様々なアプリケーションのカタログを保持するように構成されており、それを通じて垂直アプリケーションマッピングモジュールが、無線スライスマッピングのためにスライスマネージャに対してこれらのアプリケーションを識別するように構成される出力インターフェースを備える。ネットワークオペレータは、それによって管理するためにVAMに新たなアプリケーションを通知することができ、VAMは、それを通じてVAMがネットワークオペレータからそのような通知を受信するように構成される入力インターフェースを備える。

30

40

【 0 0 5 2 】

スライスマネージャは、最適なスライシング戦略を導き出すために強化学習アルゴリズムを実施するように構成されている。RAN知識ベースは、抽象化モジュールのコントローラAPIを通じて受信される、基地局からのフィードバック1、2、3を介して受信される定期的な更新によってRANのリアルタイムのグローバルビューを保持するように構成されている。RAN知識ベースは、複数の異なるスライスのユーティリティおよび利用に関する関連パラメータの記録を保持し、スライスマネージャがスライシング戦略を動的に更新するのを容易にするように構成されている。RAN知識ベースはまた、複数の異な

50

るスライスを優先順位付けする際のネットワークオペレータのプリファレンス (preferences) とともに、様々なスライスのリソース需要の情報を保持するようにも構成されている。スライスマネージャは、複数の異なるスライスに無線リソースを割り当てる役割を担うワイヤレスリソースマネージャ (WRM) に最適な戦略を供給するように構成されている。さらに、スライシングの決定は、抽象化モジュールの RAN API を通じて基地局へと通信される。

【 0 0 5 3 】

VNF オーケストレーションモジュールは、スライシングコントローラの VNF ソフトウェアをモニタリング、管理、および修復するために使用される。

【 0 0 5 4 】

物理的な実施の観点からは、この実施形態は、RANのエッジにおいてクラウドコンピューティング機能を提供する、標準的なモバイルエッジコンピューティングインフラストラクチャにおいて容易に実施され得る。

【 0 0 5 5 】

一実施形態において、抽象化モジュール、コントローラ API、RAN API、スライシングコントローラ、スライスマネージャ、WRM、VAM、およびRAN知識ベースのうちの一つもしくは複数またはすべては、ソフトウェアモジュールとして実装され、コンピュータ実行可能ソフトウェアコードが記憶デバイスに記憶され、上記の構成要素の一つもしくは複数またはすべては、メモリデバイスから実行可能ソフトウェアコードを受信し、ソフトウェアコードを実行するプロセッサによって実装される。

【 0 0 5 6 】

性能検証

上記実施形態は、システムレベルシミュレーション研究を通じて検証されている。シミュレートされているモデルは、2つの管理されている無線スライス内で2つの垂直アプリケーションを作動させる、7セルの六角形グリッドに基づく。第1のスライスは、触覚通信のための接続性を提供し、一方、第2のスライスは、従来の人間対人間 (H2H) の通信専用になる。両方のアプリケーションのユーザが、ポアソン分布に従ってランダムに分布される。チャンネルモデルは、小規模のレイリーフェーディング、大規模な経路損失、およびシャドーイングを考慮に入れる。その上、特定のユーティリティ関数が、両方のスライスに対して採用されている。H2H通信には、本発明では、レートベースのユーティリティ関数を採用する。しかしながら、触覚通信については、ユーティリティは、レートベースのユーティリティ関数および遅延ベースのユーティリティ関数によって一緒に指示される。トラフィックダイナミクスに関しては、時間変動する出生死滅プロセス (birth-death process) が採用された。これは、任意の時間の瞬間におけるアクティブなトラフィックフローの数を決定する。

【 0 0 5 7 】

図8～図10は、種々の基準に関してシミュレートされた実施形態の性能を、Kokku他 (Ravi Kokku, Rajesh Mahindra, Honghai Zhang and Sampath Rangarajan, Cell Slice: Cellular Wireless Resource Slicing for Active RAN Sharing, IEEE Comsnets, Jan. 2103) によって開示されている Cell Slice 技法と比較して示す。Cell Slice は、ワイヤレスリソース仮想化のためのゲートウェイレベルのソリューションである。Cell Slice は、スライス特有のリソース割り当てを課すためにアップリンクおよびダウンリンクにおける基地局スケジューリング決定に間接的に影響を与える。これらの図面において、この実施形態に係るデータは 5G-SliceR として参照される。

【 0 0 5 8 】

特定の実施形態が説明されているが、これらの実施形態は、例としてのみ提示されており、本発明の範囲を限定することは意図されていない。実際、本明細書に説明される新規のデバイス、および方法は、様々な他の形態で具現化され得、さらに、本発明の趣旨から

10

20

30

40

50

逸脱することなく、本明細書に説明されるデバイス、方法および製品の形態における様々な省略、置換および変更が行われ得る。添付の特許請求の範囲およびそれらの均等物は、本発明の範囲および趣旨に入る形態または修正をカバーすることが意図される。

【 図 1 】

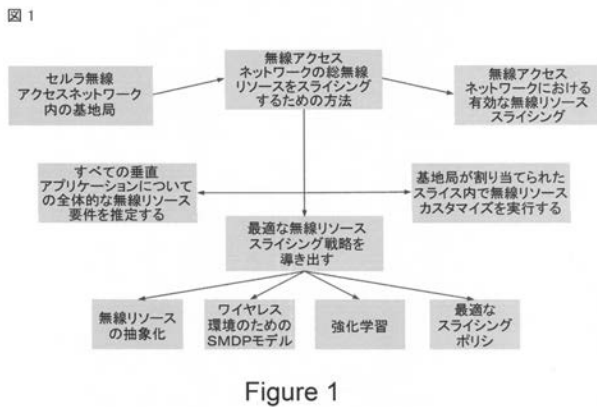


Figure 1

【 図 2 a) 】

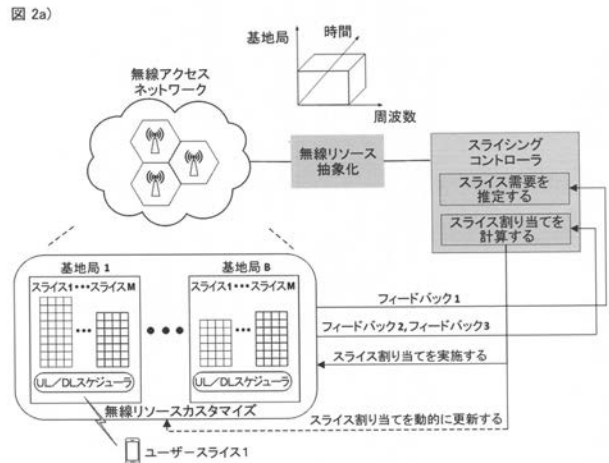


Figure 2a)

【 図 2 b) 】

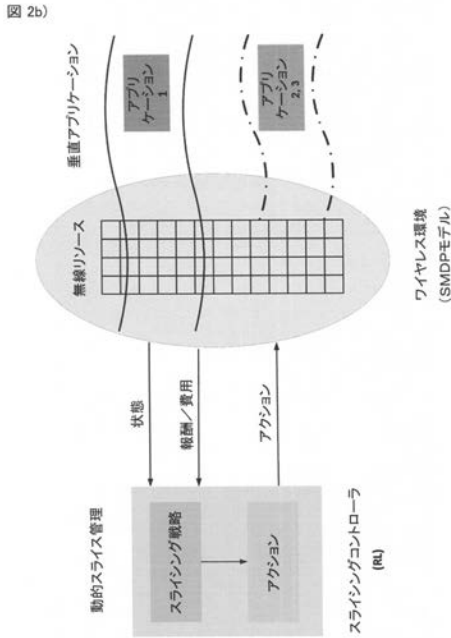


Figure 2b)

【 図 3 】

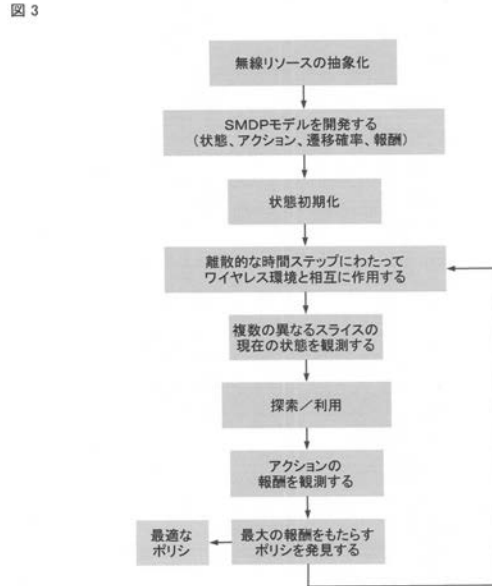


Figure 3

【 図 4 】

図 4

RLベースの無線リソーススライシング戦略のためのアルゴリズム	
1:	初期化 $time \leftarrow 0$; Q-values $\leftarrow 0$ 入力 X, M, T
2:	初期リソーススライシングのためのアルゴリズムを実行する
3:	繰り返す
while (<i>learning period is active</i>) do	
for each slice do	
observe state <i>s</i>	
explore with probability ϵ	
exploit with probability $(1 - \epsilon)$	
$R^* \leftarrow 0$; $v \leftarrow 0$	
while (<i>slice m in state s</i>) do	
observe R_T	
$R^* \leftarrow R^* + \alpha^* R_T$; $v \leftarrow v + 1$	
end	
observe state s^*	
update Q-values	
$time \leftarrow time + v$	
end	
end	

Figure 4

【 図 5 】

図 5

初期リソーススライシングのためのアルゴリズム	
1:	入力: $\{X, W_B^m, W_R^m\}$
2:	全体的なリソース需要 $W_O^m = W_R^m + W_B^m / (\theta R_m)$
3:	スライス割り当て W_O^m に基づいて m 番目のスライスにリソースユニットを割り当てる

Figure 5

【 図 6 】

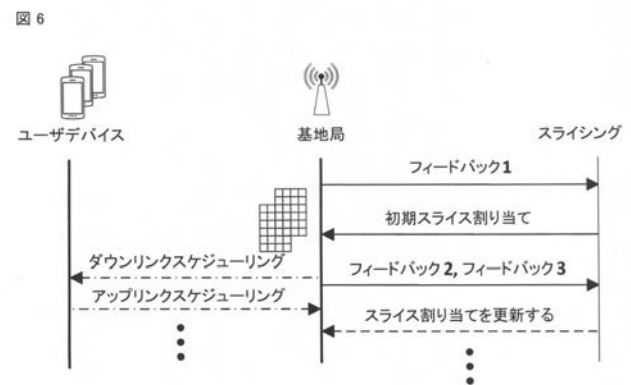


Figure 6

【 図 7 】

図 7

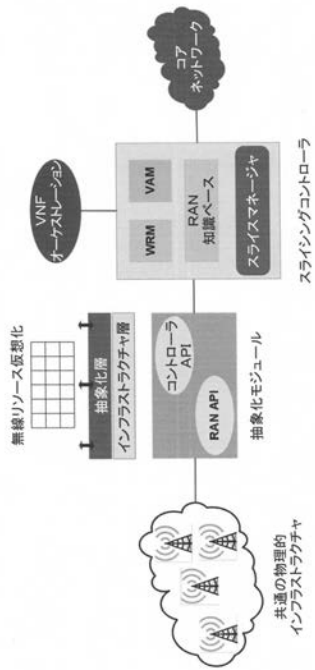


Figure 7

【 図 8 】

図 8

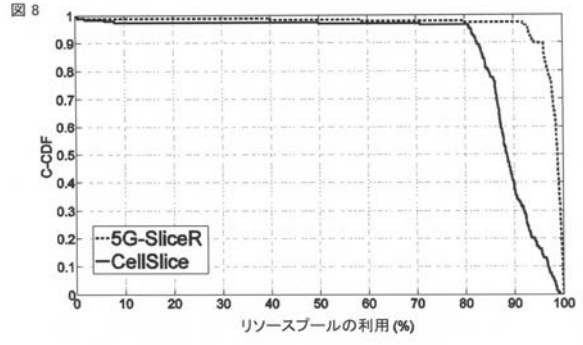


Figure 8

【 図 9 】

図 9

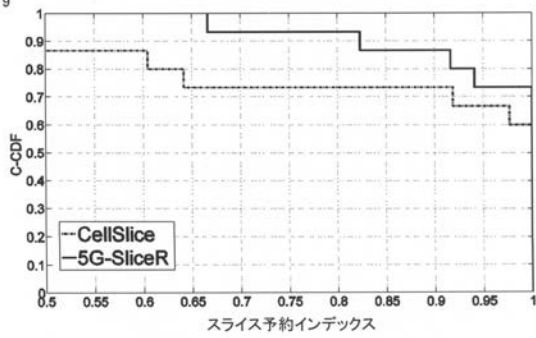


Figure 9

【 図 10 】

図 10

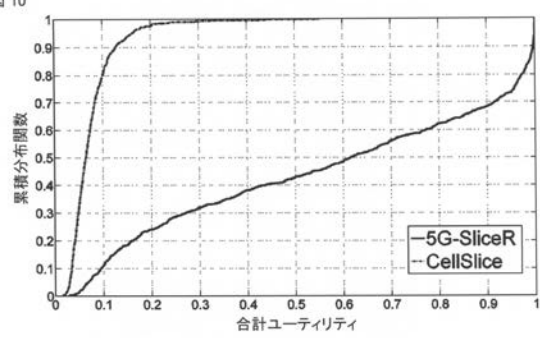


Figure 10

フロントページの続き

(72)発明者 アドナン アイジャズ

イギリス国、 ビーエス1・4エヌデー、 ブリストル、 クウィーン・スクエア 32、 トー
シバ・リサーチ・ヨーロッパ・リミテッド内

Fターム(参考) 5K067 AA21 DD57 EE10 EE16

【外国語明細書】

2017200172000001.pdf