(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年1月12日(12.01.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/281671 A1

(51) 国際特許分類:
H04W 24/08 (2009.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/025674

(22) 国際出願日： 2021年7月7日(07.07.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

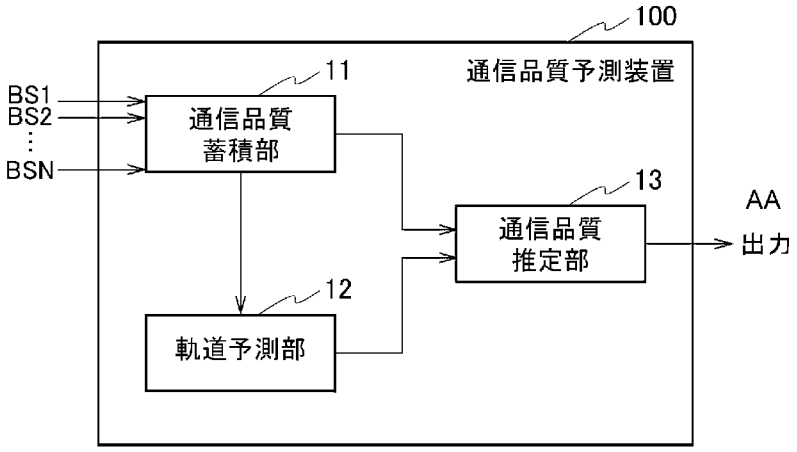
(72) 発明者: オウ イト (**WANG Yitu**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 井上 武 (**INOUE Takeru**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 間野 暢 (**MANO Toru**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 工藤 理一 (**KUDO Riichi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三好 秀和, 外 (**MIYOSHI Hidekazu** et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門１丁目２番８号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

(54) **Title:** COMMUNICATION QUALITY PREDICTION APPARATUS, COMMUNICATION QUALITY PREDICTION METHOD, AND COMMUNICATION QUALITY PREDICTION PROGRAM

(54) 発明の名称： 通信品質予測装置および通信品質予測方法ならびに通信品質予測プログラム



11 Communication quality accumulation unit
12 Track prediction unit
13 Communication quality estimation unit
100 Communication quality prediction apparatus
AA Output

(57) **Abstract:** This communication quality prediction apparatus comprises: a communication quality accumulation unit (11) that accumulates the communication quality of wireless channels at a plurality of base stations; a track prediction unit (12) that predicts the track of a user device which carries out communication with the base stations; and a communication quality estimation unit (13) that predicts the future communication quality of the wireless channels at the respective base

WO 2023/281671 A1

[続葉有]

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

stations on the basis of the communication quality of the wireless channels at the respective base stations stored in the communication quality accumulation unit (11) and the track of the user device predicted by the track prediction unit (12).

(57) 要約:複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を蓄積する通信品質蓄積部(11)と、基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測する軌道予測部(12)と、通信品質蓄積部(11)に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質と、軌道予測部(12)で予測されたユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測する通信品質推定部(13)と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

通信品質予測装置および通信品質予測方法ならびに通信品質予測プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、通信品質予測装置および通信品質予測方法ならびに通信品質予測プログラムに関する。

背景技術

[0002] 基地局における無線チャンネルの将来の通信品質（ＣＳＩ；Channel State Information）を高精度に予測することにより、無線リソースをプロアクティブ制御することができる。このため、無線チャンネルのＣＳＩを高精度に予測する技術が求められている。

[0003] 非特許文献１には、時分割複信（ＴＤＤ）を用いて無線チャンネルのＣＳＩを得るためのチャンネル推定方法が開示されている。非特許文献２には、周波数分割複信（ＦＤＤ）を用いて無線チャンネルのＣＳＩを得るためのチャンネル推定方法が開示されている。

[0004] 非特許文献３には、長・短期記憶（ＬＳＴＭ）とゲート付き回帰型ユニット（ＧＲＵ）に基づくＣＳＩの時系列予測アルゴリズムを用いてＣＳＩを予測する方法が開示されている。非特許文献４には、ＬＳＴＭと畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）によりチャネル間の時間的な相関性を用いてＣＳＩを予測する方法が開示されている。

[0005] 非特許文献５には、カーネル関数として、二乗指数（ＳＥ）カーネル関数を選択することにより、観察されていない場所のＣＳＩをガウス過程（ＧＰ）で予測することが開示されている。非特許文献６には、二乗指数カーネル関数であるカウス過程を採用して、都市環境における無人航空機（ＵＡＶ）のチャンネル強度を予測することが開示されている。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1：P. Dong,H. Zhang, and G. Y. Li, ``Machine learning prediction basedCSI acquisition for FDD massiveMIMO downlink,” IEEE GLOBECOM, pp. 1-6, Dec. 2018.

非特許文献2：C. Luo, J. Ji, Q. Wang,X. Chen, and P. Li, ``Channel stateinformation prediction for 5G wirelesscommunications: A deep learning approach,” IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.,vol. 7, no. 1, pp. 227-236, Jun. 2018.

非特許文献3：W. Jiang,and H. D. Schotten, ``Recurrent neural networks with long short-term memory for fadingchannel prediction,” IEEE VTC, pp. 1-5, May 2020.

非特許文献4：C. Parera,A. Redondi, M. Cesana, Q. Liao, and I. Malanchini, ``Transfer learning for channel qualityprediction,” IEEE ISMN,pp. 1-6, Jul. 2019.

非特許文献5：S. Homayouni, S. Schwarz, and M. Rupp,``On CQI estimation for mobility and correlation properties of Gaussian processregression,” Proc. of IEEE VTC, pp. 1-5, Aug. 2018.

非特許文献6：P. Ladosz,H. Oh, G. Zheng, and W. Chen,``Gaussian process basedchannel prediction for communication-relay UAV in urbanenvironments,” IEEE Trans. Aero. Elec.Sys., vol. 56, no. 1, pp. 313-325,May 2019.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、車両通信などのユーザ機器が移動するモバイルネットワークでは、無線通信チャンネルの急激な変動によりＣＳＩが古くなるため、非特許文献１、２に開示された技術では、頻繁にチャンネル推定を行う必要がある。

[0008] また、非特許文献３、４に開示された技術では、動的に変化する非定常なＣＳＩに追従して高い予測性能を維持するためには、学習パラメータを頻繁

に変更することや、膨大なトレーニングデータを用いた学習が必要になる。また、モバイルネットワークでは、端末が移動する際の規則性に基づいてＣＳＩの精度を正確に予測できる。しかし、伝搬環境の変化に応じて変化する空間的な相関性を適切にモデル化することが難しいという問題がある。

[0009] 非特許文献５、６に開示された技術では、伝搬環境の変化に応じて変化する空間的な相関性を適切にモデル化することは容易ではない。

[0010] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、将来の無線チャンネルの通信品質を、高精度に予測することが可能な通信品質予測装置および通信品質予測方法ならびに通信品質予測プログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の一態様の通信品質予測装置は、複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を蓄積する蓄積部と、前記基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測する予測部と、前記蓄積部に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質、及び前記予測部で予測された前記ユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測する推定部と、を備える。

[0012] 本発明の一態様の通信品質予測方法は、複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を、蓄積部に蓄積するステップと、前記基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測するステップと、前記蓄積部に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質と、予測された前記ユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測するステップと、を備える。

[0013] 本発明の一態様は、上記通信品質予測装置としてコンピュータを機能させるための無線チャンネル予測プログラムである。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、将来の無線チャンネルの通信品質を、高精度に予測することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図１は、実施形態に係る通信品質予測装置、及びその周辺機器からなる通信システムの構成を示すブロック図である。

[図2]図２は、実施形態に係る通信品質予測装置の詳細な構成を示すブロック図である。

[図3]図３は、ガウス過程に基づくＣＳＩの予測フレームワークの遷移図である。

[図4]図４は、ＣＳＩの真値と、実施形態に係る予測方法を採用して予測したＣＳＩの比較を示すグラフである。

[図5]図５は、ＣＳＩの真値と、実施形態に係る予測方法を採用して予測したＣＳＩの比較を示すグラフである。

[図6]図６は、シミュレーションの諸元を示す図である。

[図7]図７は、従来方法及び実施形態の方法でＣＳＩを予測したときの、予測誤差を示すグラフである。

[図8]図８は、本実施形態のハードウェア構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図１は、本発明の実施形態に係る通信品質予測装置１００、及びその周辺機器からなる通信システムの構成を示すブロック図である。

[0017] 図１に示すように、通信品質予測装置１００は、ネットワークを経由して複数の基地局ＢＳ-1、ＢＳ-2、・・、ＢＳ-Nに接続されている。「Ｎ」は基地局の個数を示す。なお、以下では個々の基地局を特定して示す場合には、「基地局ＢＳ-1」のようにサフィックスを付して示し、個々の基地局を特定しないで示す場合及び基地局を総称して示す場合には「基地局ＢＳ」のようにサフィックスを付さずに示すことにする。

[0018] 各基地局ＢＳ-1～ＢＳ-Nは、それぞれに設定されている区域内を走行する車両に搭載されているユーザ機器ＵＥ１との間で無線通信を行い、該ユーザ機器ＵＥ１に各種のサービスを提供する。

[0019] 図２は、通信品質予測装置１００の詳細な構成を示すブロック図である。図２に示すように、本実施形態に係る通信品質予測装置１００は、通信品質蓄積部１１（蓄積部）と、軌道予測部１２（予測部）と、通信品質推定部１３（推定部）と、を備えている。

[0020] 通信品質蓄積部１１は、各基地局ＢＳ-1～ＢＳ-Nにおける無線チャンネルの通信品質（以下「ＣＳＩ」という）を取得して記憶する。従って、通信品質蓄積部１１には、各基地局ＢＳにおける無線チャンネルの過去のＣＳＩが記憶される。

[0021] 軌道予測部１２は、ユーザ機器ＵＥ１が搭載された車両の移動軌跡を予測する。軌道予測部１２は、ユーザ機器ＵＥ１と各基地局ＢＳとの間の距離を、パスロスに基づいて演算する。「パスロス」とは、基地局ＢＳとユーザ機器ＵＥ１との間の距離が長くなることに起因するＣＳＩの低下を示す。軌道予測部１２は、ユーザ機器ＵＥ１と各基地局ＢＳとの間の距離に基づいて、該ユーザ機器ＵＥ１が走行する際の移動軌跡を予測する。軌道予測部１２は、車両の移動軌跡の予測情報を通信品質推定部１３に出力する。

[0022] 通信品質推定部１３は、軌道予測部１２で予測された車両の移動軌跡の予測情報と、通信品質蓄積部１１に記憶されている各基地局ＢＳにおける過去のＣＳＩに基づいて、各基地局ＢＳにおける将来のＣＳＩを予測する。具体的に通信品質推定部１３は、ガウス過程（ＧＰ；Gaussian Process）に基づく学習モデルのＣＳＩの予測フレームワークを用いてＣＳＩを予測する。

[0023] 以下、通信品質推定部１３の具体的な処理について説明する。図１において、ユーザ機器ＵＥ１とｉ番目（ｉ＝１～Ｎ）の基地局ＢＳ-iとの距離を「ｄi」と定義する。例えば、ユーザ機器ＵＥ１と１番目の基地局ＢＳ-1との距離は「ｄ1」である。

[0024] ｉ番目の基地局ＢＳ-iの送信用情報シンボルを「ｘi」とし、ユーザ機器ＵＥ１での受信信号「ｙi」を、以下の（１）式のように記述する。

[0025] [数1]

$$y_i = h_i \sqrt{P_i} x_i + n_i \qquad \cdots(1)$$

[0026] （１）式において、「ｈｉ」はユーザ機器ＵＥ１とｉ番目の基地局ＢＳ-iの複素チャンネルフェージング係数を示す。「Ｐｉ」は送信電力を示す。「ｎｉ」はパワーＮ0のホワイトガウスノイズを表す。

[0027] グローバルチャンネル状態をＮ個のＣＳＩ「S1～SN」の要素からなるベクトル「Ｓ」で示すと、各ＣＳＩの要素「Ｓｉ」は、下記（２）式で示すことができる。

[0028] [数2]

$$S_i = \frac{|h_i|^2}{N_0} \qquad \cdots(2)$$

[0029] また、「ｉ」番目の基地局ＢＳ-iの無線チャンネルでは、過去のM個のデータのみ利用可能と仮定する。本実施形態では、過去の有限の「M*N」個のＣＳＩ、即ち、Ｎ個の各基地局ＢＳにおける過去のM個のＣＳＩに基づいて、将来のＮ個のＣＳＩを予測する。また、通信品質推定部１３は、ガウス過程による学習モデルを用いてＣＳＩを予測する。

[0030] ガウス過程は、確率論をベースとする統計モデルであり、下記（３）式に示すように、要素「ｘ1～ｘM」からなるシステム入力「Ｘ」、及び下記（４）式に示すように、要素「ｙ1～ｙM」からなるシステム出力「Ｙ」の回帰モデルを用いる。

[0031] [数3]

$$\mathbf{X} = \{x_1, \cdots, x_M\} \qquad \cdots(3)$$

[0032] [数4]

$$\mathbf{Y} = \{y_1, \cdots, y_M\} \qquad \cdots(4)$$

[0033] （３）式に示したシステム入力「Ｘ」が与えられたとき、システムの回帰モデルは、下記（５）式で示すことができる。

[0034] [数5]

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}) + \epsilon \qquad \cdots(5)$$

[0035] （５）式において、「ε」は平均がゼロで分散σ²に従うガウス雑音であり、「ｆ（・）」はシステム入力「Ｘ」とシステム出力「Ｙ」のマッピング関数である。

[0036] 通信品質推定部１３は、新たな入力「ｘ＊」（但し、「ｘ＊」は上記（３）式の「Ｘ」に含まれない）が与えられたとき、ガウス過程により「ｙ＊」を予測する。即ち、ユーザ機器ＵＥ１が移動することにより、通信品質推定部１３には新たな入力「ｘ＊」が与えられる。通信品質推定部１３は、新たな入力「ｘ＊」を用いて将来のＣＳＩを予測する。

[0037] 「Ｘ」、「Ｙ」、「ｘ＊」に基づき、マッピング関数ｆ（ｘ＊）の条件付き確率分布は、下記（６）式、（７）式に示す予測平均「ｆ(^)（ｘ＊）」、及び分散σ²（ｘ＊）を用いて演算することができる。

[0038] [数6]

$$\hat{f}(x^*) = \mathbf{K}_*^T(\mathbf{K}(\mathbf{X},\mathbf{X}) + \sigma^2\mathbf{I})^{-1}\mathbf{Y} \quad \cdots(6)$$

[0039] [数7]

$$\sigma^2(x^*) = K(x^*,x^*) - \mathbf{K}_*^T(\mathbf{K}(\mathbf{X},\mathbf{X}) + \sigma^2\mathbf{I})^{-1}\mathbf{K}_* \quad \cdots(7)$$

[0040] （７）式の右辺第１項に示す「Ｋ（ｘ＊, ｘ＊）」は、カーネル関数である。

[0041] 従って、ＣＳＩの主要な特性を上記のカーネル関数にエンコードすることにより、予測平均及び分散を正確に予測が可能となる。本実施形態の通信品質推定部１３は、混合ガウス分布による学習モデルを採用し、各基地局ＢＳにおける無線チャンネルの通信品質の変化に追従するように、混合ガウス分布のカーネル関数を学習する。

[0042] 本実施形態では、各基地局ＢＳにおける過去の無線チャンネルのＣＳＩを、ユーザ機器ＵＥ１と各基地局ＢＳ間の距離を指標としたＣＳＩ系列として並べる。また、ｉ番目の基地局ＢＳ-iにおける無線チャンネルのシステム入力「Ｘ」、システム出力「Ｙ」を、下記（８）式、（９）式で示す。

[0043] [数8]

$$\mathbf{X} = [\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \cdots, \mathbf{d}_M] \quad \cdots(8)$$

[0044] [数9]

$$\mathbf{Y}_i = [S_{1,i}, S_{2,i}, \cdots, S_{M,i}] \quad \cdots(9)$$

[0045] （８）式に示す「Ｘ」は、前述した（３）式の構成要素を、「ｄ1，ｄ2，・・，ｄM」に書き換えた式となっている。なお、上記「ｄ1～ｄM」はベクトルである。（９）式に示す「Ｙｉ」は、前述した（４）式の構成要素を「Ｓ1，i，Ｓ1，i，・・，ＳM，i」に書き換えた式となっている。また、（８）式において、「ｄｊ」は、下記（１０）式で示すことができる。

[0046] [数10]

$$\mathbf{d}_j = \{d_{j,1}, \cdots, d_{j,N}\}, \forall j \in \{1, 2, \cdots, M\} \quad \cdots(10)$$

[0047] 上述した（８）～（１０）式に示す「Ｍ」は、通信品質蓄積部１１に記憶されている各基地局ＢＳにおけるＣＳＩの個数であり、過去におけるＭ個のＣＳＩが記憶されていることを示す。「Ｎ」は基地局ＢＳの個数を示す。「ｄ（ｊ，ｉ）」は、ユーザ機器ＵＥ１とｉ番目の基地局ＢＳ-ｉとの間の距離を示す。「Ｓ（ｊ，ｉ）」は、ｉ番目の基地局ＢＳ-ｉにおける無線チャンネルのＣＳＩを示す。「ｊ」は、通信品質蓄積部１１に記憶されている、過去のｊ番目のＣＳＩを示す。

[0048] 基地局ＢＳとユーザ機器ＵＥ１との間の距離は、パスロスに大きな影響を与える。従って、ユーザ機器ＵＥ１と各基地局ＢＳとの間のパスロスに基づいて、ユーザ機器ＵＥ１と各基地局ＢＳとの間の距離を算出することができる。更に、算出した距離に基づいて、ユーザ機器ＵＥ１が走行した軌道を予測することができる。

[0049] 「ｎ」番目の基地局ＢＳにおける無線チャンネルのカーネル関数「Ｋｎ（ｄｉ，ｄｊ）」は、下記（１１）式のように定式化することができる。

[0050] [数11]

$$K_n(\mathbf{d}_i, \mathbf{d}_j) = \underbrace{K(d_{i,n}, d_{j,n})}_{\text{パスロス}} + \underbrace{\prod_{l \neq n} K(d_{i,l}, d_{j,l})}_{\text{位置変化}} \quad \cdots(11)$$

[0051] （１１）式に示す右辺第１項は、パスロスがＣＳＩに与える影響を学習することにより算出することができる。右辺第２項は、ユーザ機器ＵＥ１の位置変化がＣＳＩに与える影響を学習することにより算出することができる。また、（１１）式の右辺第２項に示す「Π」は、各構成要素の乗算を示す記号である。

[0052] 従って、（１１）式に示すカーネル関数を学習することにより、Ｎ個の各基地局ＢＳにおける無線チャンネルの、将来のＣＳＩを予測することができる。通信品質推定部１３は、図３に示すアルゴリズムを用いて将来のＣＳＩを予測する。図３は、ガウス過程による学習モデルに基づくＣＳＩの予測フレームワークの遷移図である。

[0053] 図３に示すように、予測フレームワークは入力層２１、ＬＭＣ層２２、及び出力層２３を備えている。

[0054] 入力層２１は、各基地局ＢＳ-1～ＢＳ-Nにおける無線チャンネルの過去のＣＳＩを、「D1，D2，・・・，DN」として入力する。

[0055] ＬＭＣ層２２は、コリージョナライゼーションの線形モデル（ＬＭＣ：Linear Model of Coregionalization）を採用して、Ｎ個の潜在関数「ｇN（Ｘ）」の線形結合として表す。即ち、通信品質推定部１３は、学習モデルの出力を複数の潜在関数の線形結合として表現するコリージョナライゼーションの線形モデルを採用して各基地局ＢＳにおける無線チャンネルの通信品質を予測する。潜在関数「ｇN（Ｘ）」は、平均がゼロであり、前述した（１１）式の左辺に示したカーネル関数「Ｋn（ｄi，ｄj）のガウス過程である。ＬＭＣ層２２に示す「Wn,l」（ｎ；１～Ｎ、ｌ；１～Ｎ）は、ｌ番目の潜在関数とｎ番目の出力の重み計数を示す。

[0056] 出力層２３は、ＣＳＩの接続を予測する。出力層２３に示す「ｘ*」は、新たに入力されるＣＳＩである。出力「ｙ(~)N（ｘ*）」は、出力をＬ個の潜在関数の線形結合として表している。上述した（６）、（７）式により、予測、及び分散を演算し、その後、下記（１２）式により、出力「ｙ(~)i」を演算する。

[0057] [数12]

$$\tilde{y}_i = \sum_{l=1}^{N} w_{il} f_l(\mathbf{X}^*) \quad \cdots(12)$$

[0058] （１２）式に示す出力「ｙ(~)ｉ」は、ＣＳＩの予測データとなる。こうして、各基地局ＢＳにおける無線チャンネルのＣＳＩの予測データを算出することができる。

[0059] 図４、図５は、ＣＳＩの真値と、本実施形態に係る予測方法を採用して予測したＣＳＩの比較を示すグラフである。図４、図５に示すように、本実施形態の予測方法で予測したＣＳＩは、真値の変動の傾向、及び特徴を正確に予測できている。更に、本実施形態の予測方法で予測したＣＳＩは、９５％の信頼区間に入っていることが理解される。

[0060] 発明者らは、グリッドのサイズを「１５０ｍ×１５０ｍ」とし、２つの基地局ＢＳがそれぞれ座標（０，７５）と座標（７５，１５０）に存在すると想定した。更に、ユーザ機器ＵＥ１が、ランダムな速度と経路で座標（０，０）から（１５０，１５０）まで移動するものとしてシミュレーションを実施した。シミュレーションの諸元は、図６に示すように、キャリア周波数を７３［ＧＨｚ］とし、基地局ＢＳの高さを７ｍとし、ユーザ機器ＵＥ１の高さを１ｍとし、送信電力を０［ｄＢＷ］とした。

[0061] 上記の条件において、「ＡＲＩＭＡ」、「ＬＳＴＭ」、「ＧＰ（ＳＭ）」、「ＧＰ(Time slot)」の４つの方法によりシミュレーションを実施した。

[0062] 「ＡＲＩＭＡ」では、自己回帰係数の次数と移動平均係数の次数と和分過程の次数は経験的に決定される。

[0063] 「ＬＳＴＭ」では、メモリブロックのニューロンは全て接続し、ＣＳＩの時系列から、短・長距離の相関関係を学習する。

[0064] 「ＧＰ（ＳＭ）」では、チャンネルごとにスタンドアロンのＧＰ（ガウス分布）を導入する。

[0065] 「ＧＰ(Time slot)」では、過去のＣＳＩをＣＳＩ時系列に変換し、前述し

た（１２）式を用いて予測値を生成する。

[0066] 図７は、上記の結果を示すグラフであり、それぞれチャンネルＣＨ１、ＣＨ２の予測誤差をＲＭＳＥ（平均平方２乗誤差）で示している。

[0067] 図７に示すように、確率過程論に基づくＡＲＩＭＡでは、予測誤差が大きくなっている。深層学習に基づくＬＳＴＭでは、ユーザ機器ＵＥ１が移動するような動的な環境化においては予測誤差を低減できない。

[0068] ＧＰ（ＳＭ）では、チャンネル間の相関性を利用していないので予測誤差が大きい。更に、ＧＰ（Time slot）では、ＣＳＩの変動は、モバイルシナリオではタイムスロットの長さとの関係が弱いので予測誤差が大きい。

[0069] 上記した４つの方法と対比して、本実施形態に係る方法では、予測誤差が小さい数値となっている。

[0070] このように、本実施形態は、複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を蓄積する蓄積部（通信品質蓄積部１１）と、前記基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測する予測部（軌道予測部１２）と、前記蓄積部に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質、及び前記予測部で予測された前記ユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測する推定部（通信品質推定部１３）と、を備えたことを特徴とする。

[0071] 上記の構成を有することにより、本実施形態では、信頼性の高いＣＳＩを予測することが可能となる。このため、ユーザ機器ＵＥ１が移動することにより、急激にＣＳＩが変動するような場合であっても、高精度なＣＳＩの予測が可能になる。即ち、本実施形態では、無線リソースをプロアクティブに制御することで、高品質な無線伝送サービスを提供することが可能になる。

[0072] 本実施形態では、周波数領域で混合ガウス分布による学習モデルを採用し、ＣＳＩに追従するように任意の定常カーネル関数を任意の精度で近似する。従って、混合コンポーネントの数と関連するハイパーパラメータを適宜に調整することにより、現在のＣＳＩの特性を学習することができる。従って、将来のＣＳＩを高精度に予測することが可能になる。

[0073] 本実施形態では、チャンネル間の相関性を活用するために、出力を複数の潜在関数の線形結合として表現するコリージョナライゼーションの線形モデル（ＬＭＣ）を採用している。更に、出力信号間の相関を活用することで、統合予測モデルを確立している。このため、高い予測精度を達成することができる。

[0074] 上記説明した本実施形態の通信品質予測装置１００には、図８に示すように例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit、プロセッサ）９０１と、メモリ９０２と、ストレージ９０３（HDD：HardDisk Drive、SSD：SolidState Drive）と、通信装置９０４と、入力装置９０５と、出力装置９０６とを備える汎用的なコンピュータシステムを用いることができる。メモリ９０２およびストレージ９０３は、記憶装置である。このコンピュータシステムにおいて、ＣＰＵ９０１がメモリ９０２上にロードされた所定のプログラムを実行することにより、通信品質予測装置１００の各機能が実現される。

[0075] なお、通信品質予測装置１００は、１つのコンピュータで実装されてもよく、あるいは複数のコンピュータで実装されても良い。また、通信品質予測装置１００は、コンピュータに実装される仮想マシンであっても良い。

[0076] なお、通信品質予測装置１００用のプログラムは、ＨＤＤ、ＳＳＤ、ＵＳＢ（Universal Serial Bus）メモリ、ＣＤ（Compact Disc）、ＤＶＤ（Digital Versatile Disc)などのコンピュータ読取り可能な記録媒体に記憶することも、ネットワークを介して配信することもできる。

[0077] なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨の範囲内で数々の変形が可能である。

符号の説明

[0078] １１　通信品質蓄積部（蓄積部）

１２　軌道予測部（予測部）

１３　通信品質推定部（推定部）

２１　入力層

２２　ＬＭＣ層

２３　出力層

１００　通信品質予測装置

ＢＳ-1～ＢＳ-Ｎ　基地局

ＵＥ１　ユーザ機器

請求の範囲

[請求項1] 複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を蓄積する質蓄積部と、

前記基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測する予測部と、

前記蓄積部に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質、及び前記予測部で予測された前記ユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測する推定部と、

を備えた通信品質予測装置。

[請求項2] 前記推定部は、混合ガウス分布による学習モデルを採用し、前記各基地局における無線チャンネルの通信品質の変化に追従するように、前記混合ガウス分布のカーネル関数を学習する請求項１に記載の通信品質予測装置。

[請求項3] 前記推定部は、学習モデルの出力を複数の潜在関数の線形結合として表現するコリージョナライゼーションの線形モデルを採用して前記各基地局における無線チャンネルの通信品質を予測する請求項１または２に記載の通信品質予測装置。

[請求項4] 複数の基地局における無線チャンネルの通信品質を、蓄積部に蓄積するステップと、

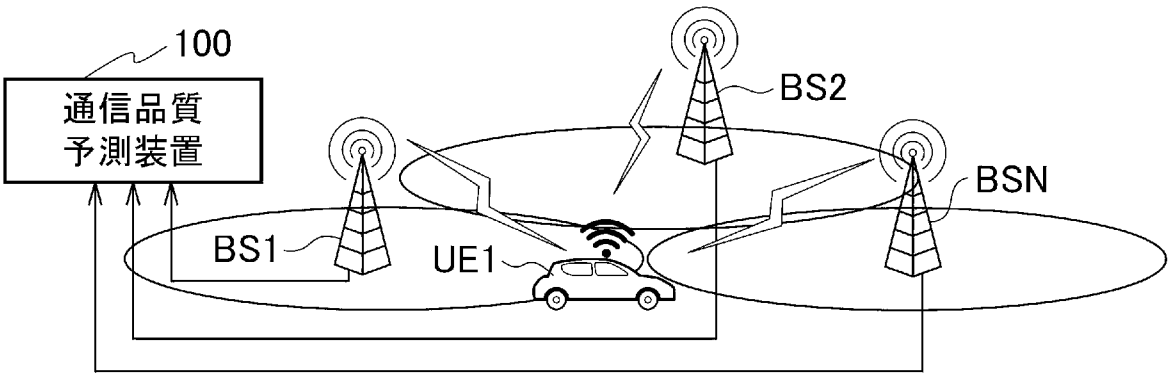
前記基地局との間で通信を行うユーザ機器の軌道を予測するステップと、

前記蓄積部に記憶されている各基地局における無線チャンネルの通信品質と、予測された前記ユーザ機器の軌道に基づいて、各基地局における無線チャンネルの将来の通信品質を予測するステップと、

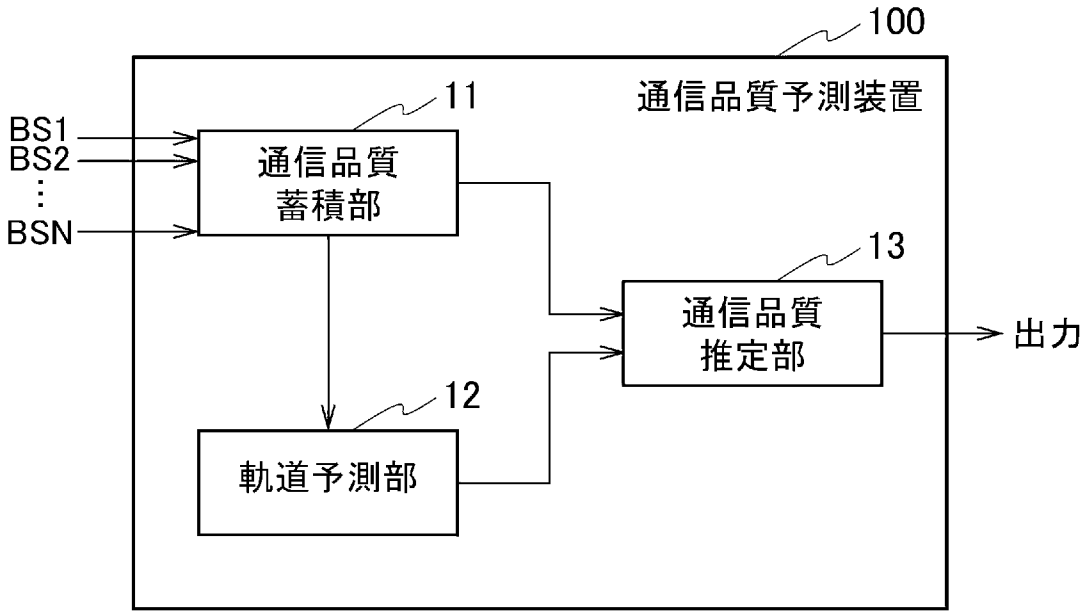
を備えた通信品質予測方法。

[請求項5] 請求項１～３のいずれか１項に記載の通信品質予測装置としてコンピュータを機能させる通信品質予測プログラム。

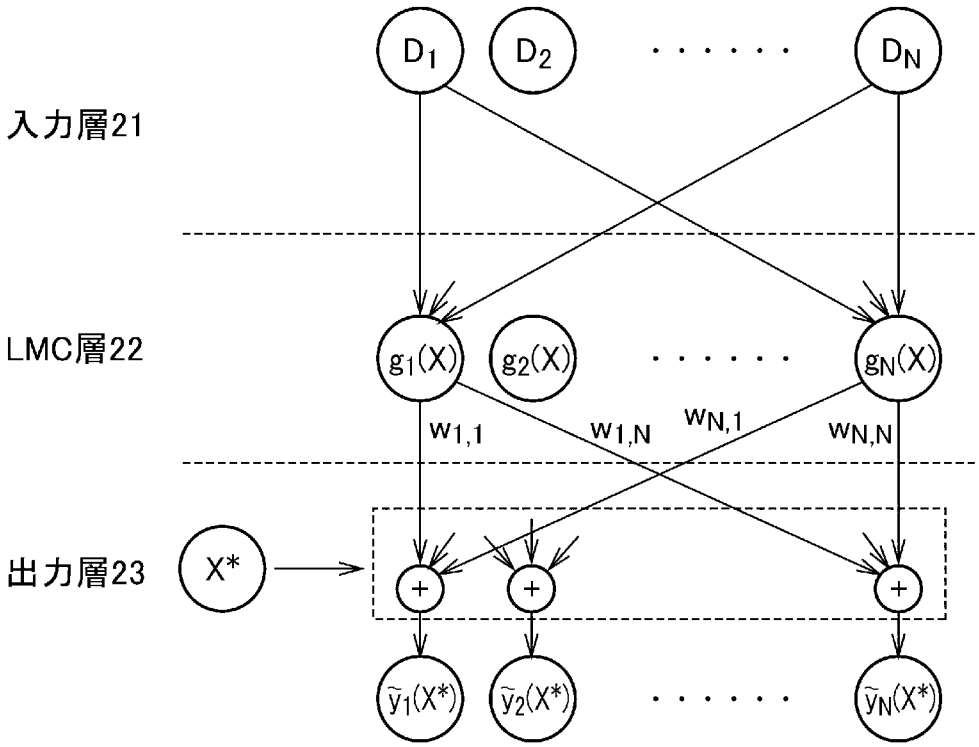
[図1]


100
通信品質
予測装置
BS2
BSN
BS1
UE1

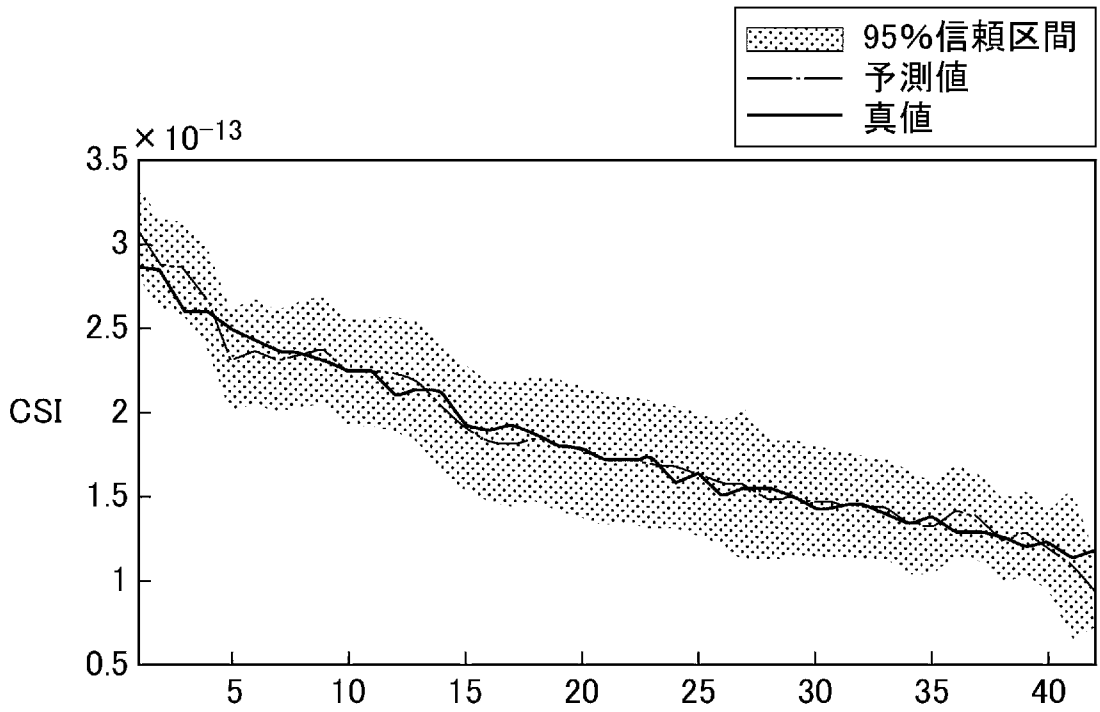
[図2]


100
通信品質予測装置
11
BS1
BS2
BSN
通信品質
蓄積部
13
通信品質
推定部
出力
12
軌道予測部

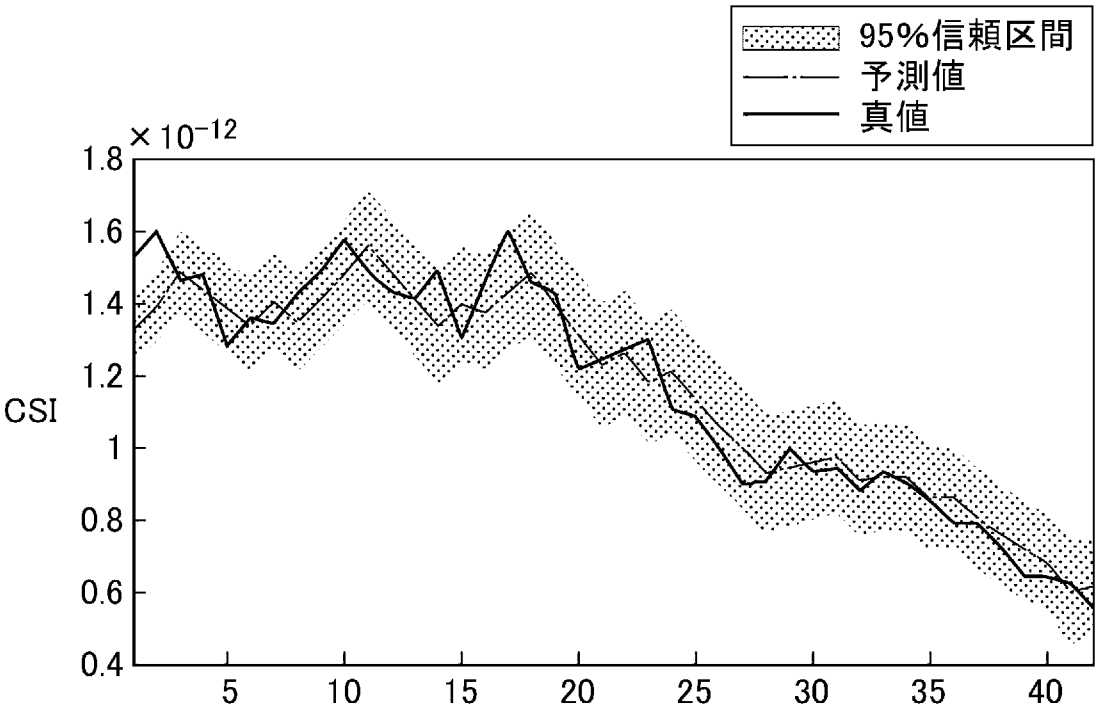
[図3]


入力層21
LMC層22
出力層23
D1
D2
DN
g1(X)
g2(X)
gN(X)
w1,1
w1,N
wN,1
wN,N
X*
+
+
+
ỹ1(X*)
ỹ2(X*)
ỹN(X*)

[図4]


95%信頼区間
予測値
真値
× 10−13
CSI
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
5
10
15
20
25
30
35
40

[図5]

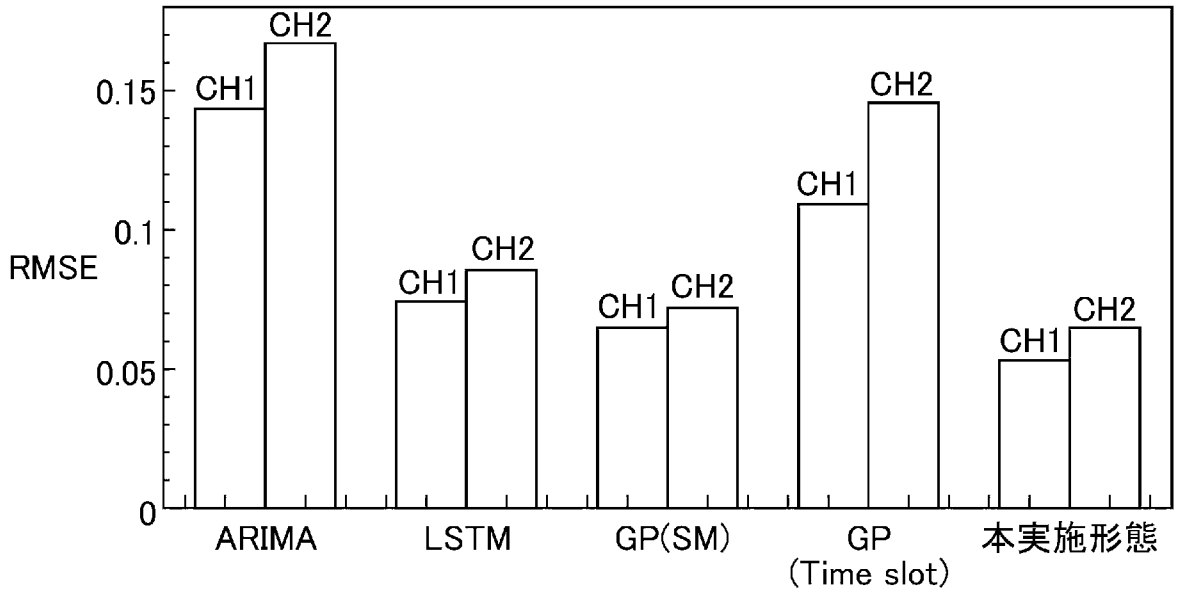

95%信頼区間
予測値
真値
× 10−12
CSI
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
5
10
15
20
25
30
35
40

[図6]

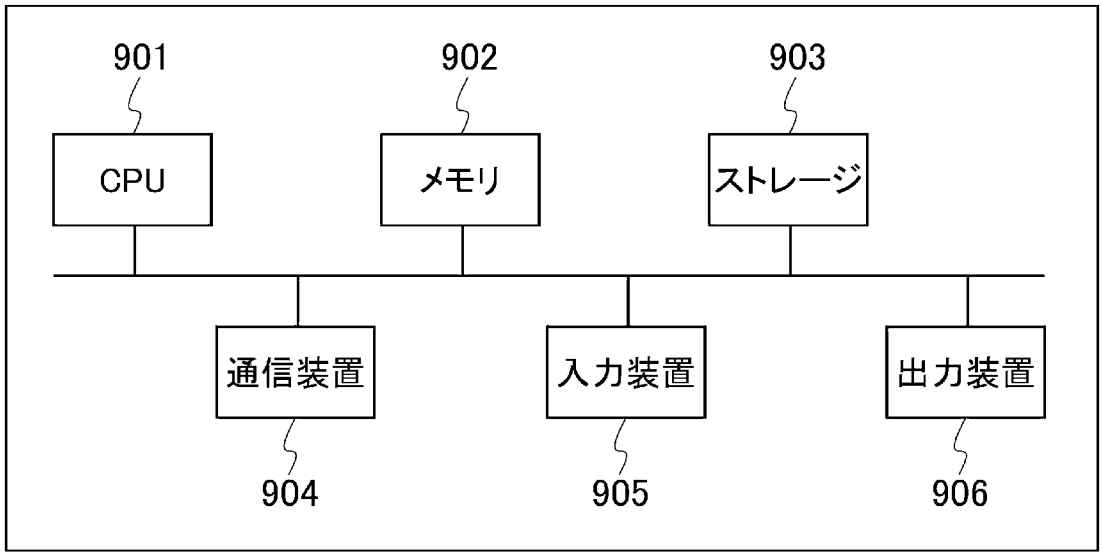
シミュレーション諸元

パラメータ	数値
キャリア周波数	73GHz
基地局の高さ	7m
ユーザの高さ	1m
送信電力	0dBW

[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/025674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W 24/08(2009.01)i
FI: H04W24/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B7/24-7/26, H04W4/00-99/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2020-507233 A (INTEL CORP.) 05 March 2020 (2020-03-05) paragraphs [0724]-[0726], [0749]	1, 4-5
Y	paragraphs [0724]-[0726], [0749]	2-3
Y	JP 2017/033198 A (NIPPON TELEGR. & TELEPH. CORP.) 09 February 2017 (2017-02-09) paragraph [0115]	2
Y	MATEO-SANCHIS, Anna, MUNOZ-MARI, Jordi, CAMPOS-TABERNER, Manuel, GARCIA-HARO, Javier, CAMPS-VALLS, Gustau. Gap Filling of Biophysical Parameter Time Series with Multi-Output Gaussian Processes. IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 05 November 2018 section 2.2	3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
30 September 2021	**12 October 2021**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/025674

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2020-507233 A	05 March 2020	US 2019/0364492 A1 paragraphs [1011]-[1013], [1035] US 2020/0205062 A1 WO 2018/125686 A2 KR 10-2019-0093204 A CN 110301143 A	
JP 2017-033198 A	09 February 2017	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/025674

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04W 24/08(2009.01)i
FI: H04W24/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B7/24-7/26, H04W4/00-99/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2020-507233 A (インテル　コーポレイション) 05.03.2020 (2020-03-05) 段落[0724]-[0726],[0749]	1,4-5
Y	段落[0724]-[0726],[0749]	2-3
Y	JP 2017-033198 A (日本電信電話株式会社) 09.02.2017 (2017-02-09) 段落[0115]	2
Y	Anna Mateo-Sanchis, Jordi Munoz-Mari, Manuel Campos-Taberner, Javier Garcia-Haro, Gustau Camps-Valls, GAP FILLING OF BIOPHYSICAL PARAMETER TIME SERIES WITH MULTI-OUTPUT GAUSSIAN PROCESSES, IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2018.11.05 Section 2.2	3

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
30.09.2021	12.10.2021

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

松野　吉宏 5J 3571

電話番号 03-3581-1101 内線 3534

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/025674

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2020-507233 A	05.03.2020	US 2019/0364492 A1 Paragraphs [1011]-[1013], [1035] US 2020/0205062 A1 WO 2018/125686 A2 KR 10-2019-0093204 A CN 110301143 A	
JP 2017-033198 A	09.02.2017	（ファミリーなし）	