

基地局装置におけるサイレント故障検出技術の実用化

通信ネットワークにおける安全性・信頼性の確保に向けた検討課題の1つとして、無線基地局装置におけるサイレント故障の検知がある。これまでもこのサイレント故障を検知するためのシステムは存在していたが、事象によってはその検出精度の向上が困難であり、保守者での対応が必要となっていた。

そこで、無線基地局装置におけるサイレント故障の検出精度向上を可能とするシステムを開発した。これにより、さらなるネットワーク品質向上が可能となる。

1. まえがき

近年、携帯電話が生活インフラとして定着するに従い、通信ネットワークにおける安全性・信頼性の確保が重要な課題となっており、その確保のためのさまざまな技術が検討されている。その検討課題の1つとして、無線基地局装置におけるサイレント故障^{*1}の検知がある。

無線基地局装置におけるサイレント故障の症状としては、RRC (Radio Resource Control)^{*2} 接続や RAB (Radio Access Bearer)^{*3} 接続などにおいて資源割当てが行えず、ユーザが通信できない状態などが挙げられる。これは、通信処理中に装置に導入されているカードが、何らかの原因によりトラフィック処理を行えない状態となっていることが想定される。

また、サイレント故障の症状については、各カードが処理しているト

ラフィック内容により異なっている。例えば、各ユーザのRRC接続処理を行っているカードが故障している場合には、そのカードを利用して接続する一部のユーザに対してのみ、無線資源が正常に割り当てられず、通信を行うことができないといったことが発生する。

これまで通信装置におけるサイレント故障の検出方法としては、さまざまな方式が検討されてきたが[1]、事象によってはその検出精度の向上が困難であり、保守者での対応が必要となっていた。

本稿では、今回開発した無線基地局装置のサイレント故障を迅速かつ正確に検知するための検出技術と、その実装方式[2]について解説する。

2. 従来のサイレント故障検出技術

これまで通信装置におけるサイレ

ント故障の検出方法としては、さまざまな方式が検討されており、その形態としては能動的検出方式と受動的検出方式がある。

能動的検出方式としては、例えば、①各通信装置間で擬似通信を実施し、その結果を監視装置へ通知する方式や、②各通信装置間に擬似的なユーザ通信装置を設置し、その擬似ユーザ通信装置間での通信結果を基にサイレント故障を検出するといった方式[3]がある。しかし、①の方式においては、擬似通信機能を通信装置に盛り込むことによるコスト増や、通信装置自体への性能影響、また装置本体のサイレント故障に引きずられて、擬似通信機能についてもサイレント故障が発生するといった問題がある。また、②の方式においても、キャリアネットワークにおける無線基地局装置のように、数十万台といったオーダーの装置へ適応す

ネットワーク開発部

この ひろのぶ† ふるたに まさのり
神野 裕宣 古谷 雅典

無線アクセス開発部

さが え ゆうた
寒河江 佑太

ベンジャブール アナス

先進技術研究所

はぎわら じゅんいちろう
萩原 淳一郎

† 現在、研究開発推進部

*1 サイレント故障：障害検知部およびメインプロセッサ部の故障などに起因する障害が発生した場合に、通信装置自身が障害を認識できないため、故障が発生したことをオペレータが把握できない故障。

*2 RRC：無線回線を制御するレイヤ3プロ

トコル。

*3 RAB：無線区間を接続するベアラ（*4参照）。

る場合には、膨大なコストが必要となる。

一方、受動的検出方式は、定常的に、ある計測地点にて観測可能なデータを基にサイレント故障を検出するため、本開発に適している。このとき、観測データとしてはトラフィック情報が有効であることが知られており、これまでも保守者による日々のトラフィック状況の目視による確認や、トラフィックが0となる事象を自動で検知するシステムを用いてサイレント故障を検出してきた。しかし、これらの手段では保守者への負担が大きく、また、既存システムによる自動検出では、精度の高いサイレント故障を検出することが困難であった。

そこで、無線基地局装置のサイレント故障を迅速かつ正確に検知するための技術を開発した。

2.1 サイレント故障とトラフィック情報との関係性

ネットワーク上を流れるトラフィックデータとして、RRC接続やRAB接続のデータが観測されている。

RRCトラフィックとは、無線区間の制御プロトコルのトラフィックであり、RABトラフィックとは無線区間に接続されるベアラ^{*4}に関する制御プロトコルのトラフィックである。これらのトラフィックに対して、ある一定期間内に発生および処理が完了したトラフィック呼数をカウントし、その呼数をトラフィック量とする。

観測するトラフィック情報と観測

ポイントを図1に示す。RRCトラフィックは位置登録ユーザと通信ユーザの、両方の情報をカウントする。それに対して、RABトラフィックは実際にベアラを割り当てて通信を行うユーザに関する接続状況を観測する。また、CS (CircuitSwitching) /PS (PacketSwitching) トラフィック情報は、RRC設定処理からRAB設定処理までの接続処理に関して、実際に通信を行うユーザのみについて観測した情報である。これらトラフィック情報は検出対象である無線基地局装置ではなく、対象無線基地局装置の上位にあるRNC (Radio Network Controller)^{*5}にて観測される。

呼処理シーケンスとサイレント故障時の症状の関係を図2に示す。端末がネットワークに接続し通信を開始するために、RRC接続処理を開始

する。この際に無線基地局装置から報知されている制御情報を基に、RRC共通チャネルを利用してRRC接続要求が送られる。続いて、RRC接続要求に基づき資源が割り当てられ、RRC個別チャネルへ遷移する。その後、認証や秘匿処理に続き、通信を行う際のベアラを割り当てるRAB接続処理のためのRAB個別チャネルを割り当てる。

この呼処理シーケンスと無線基地局装置のベースバンドカード^{*6} (以下、BBカード) の処理の対応により、故障時さまざまな症状が発生する (図2)。

2.2 これまでのサイレント故障検出技術と課題点

これまでの無線基地局装置におけるサイレント故障検出においては、位置登録を含めたトラフィックの受

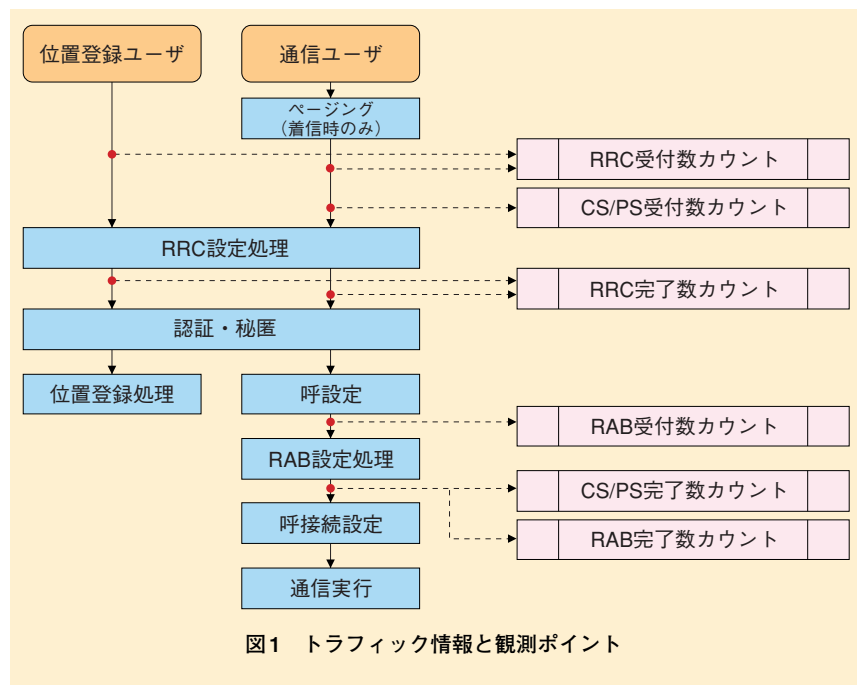


図1 トラフィック情報と観測ポイント

*4 ベアラ：情報を伝達する通信回線。

*5 RNC：3GPP上規定されている3Gネットワークにおける無線回線制御や移動制御を行う装置。

*6 ベースバンドカード：共通CH、個別CHの拡散・逆拡散処理、Rake処理などを実施するカード。Rake処理（受信）とは直接波、反射波、回折波といったあらゆる電波を受信し、1つのより強い電波として合成復調する技術。

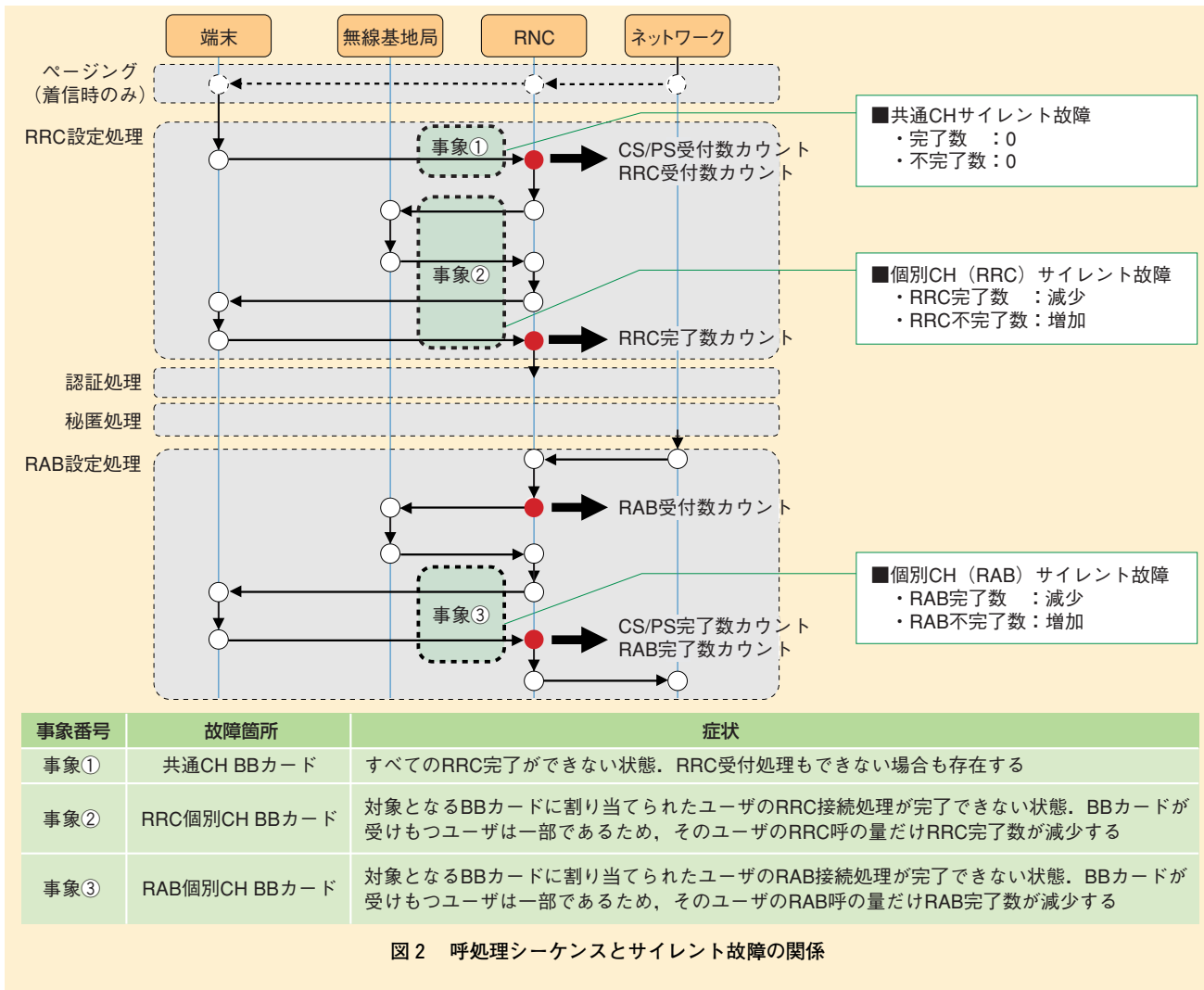


図2 呼処理シーケンスとサイレント故障の関係

付数を基に検出処理を行っていた。例えば、単位時間あたりのRRC受付数が0である時間帯が連続2周期以上続いた場合に、故障被疑として処理を行う。具体的には、検出された時刻に対して、前日同時刻や1週間前の同時刻のトラフィック状態を確認し、以前のトラフィックが一定数以上であった場合には、正常状態では十分にトラフィックがあるエリアだと判断できるため、トラフィック量が0である状況を故障として判断

する。加えて、検出時間帯において通常の故障や点検などの状況を確認し、それらに応じて回復措置実施を判定している。

このロジックでは、「RRC完了数が0」というすべてのユーザーのRRC接続処理ができない故障状態を検出することが可能であり、図2で示したように、共通CHのサイレント故障の検知には適していると言える。しかしながら、完了率は低下するもののその値が必ずしも0とはならな

い個別CHへの直接の適応は難しい。そのため、個別CHのサイレント故障においては、RRCやRABといったトラフィックに関する受付数と完了数の関係が、「普段の状況」と異なり急激に劣化する点に着目して、受付数および完了数から算出した完了率の変動を基に検知を行う手法が存在していた。具体的には完了率が、あらかじめ決められたしきい値を下回った場合に故障として検出する。しかし、この手法を用いる場

合、常時低トラフィックである装置と高トラフィックである装置では、同数の受付数の変化でも完了率の変化が大きく異なるため、しきい値は受付数ごとに決定する必要があった。

3. 新たなサイレント故障検出技術

これまでの個別CHのサイレント故障の検出手法はトラフィックの完了率に基づくものであり、最適なしきい値がトラフィックの状況に依存する困難さが伴っていた。

今回、開発した新たなサイレント故障技術は、「相関係数を利用した故障検出処理」を実施した後、その結果として検出されたサイレント故障被疑に対して、「カルマンフィルタを用いた輻輳^{*7}による類似事象検出処理」および「不完了数を用いたエリア要因での類似事象検出処理」を実施し、それらの結果を基に最終的なサイレント故障判定を行う。

3.1 相関係数を利用した

サイレント故障検出処理

相関係数を利用したサイレント故障検出機能では、受付数と完了数の相関性を示す相関係数を利用して検出を行う。

相関係数とは、2つの確率変数の間の相関（類似性の度合い）を示す統計学的指標であり、以下にて定義される。

2組の数値からなるデータ列 $(x, y) = \{(x_n, y_n)\}$ ($n = 0, 1, \dots, N-1$) が与えられたとき、相関係数 $Corr(x, y)$ は式(1)のように求められる。

$$Corr(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \quad (1)$$

ここで、 $Cov(x, y)$ は x と y の共分散を、 σ_x^2 および σ_y^2 は x, y それぞれの分散を表しており、それぞれ式(2)(3)(4)にて求められる。

$$Cov(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} (x_n - \mu_x)(y_n - \mu_y) \quad (2)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (x_n - \mu_x)^2 \quad (3)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (y_n - \mu_y)^2 \quad (4)$$

ただし、このとき μ_x と μ_y は、それぞれ式(5)(6)のとおりである。

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \quad (5)$$

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \quad (6)$$

このとき、相関係数 $Corr(x, y)$ は-1から1の間の実数値をとり、1に近いときは2つの確率変数には正の相関があるといい、-1に近ければ負の相関があるという。

相関係数の値に関して、装置が正常状態の場合、受付数と完了数はほぼ同等の数値であるため、それらの相関性は高く相関係数は1に近い数値となる。それに対して、故障状態の場合では、BBカード故障により処理が完了できない呼が大量に発生するため、受付数と完了数に差分が発生する。そのため、変数 x を受付数、変数 y を完了数として相関係数を計算し、相関性の低下に伴う相関係数の減少を検出することで、正常状態から故障状態に切り替わるタイ

ミングを検出することができる。このように相関係数の変化を利用することで、相関係数がしきい値を下回った際に、なにかしらの異常が発生しているとして、検出可能となる(図3)。

また、相関係数では、2変数間の関係性を示す共分散を、それぞれの標準偏差 (σ) の積にて正規化を行っている。このため、トラフィック状況の影響が基本的に排除され、サイレント故障の判定しきい値を、トラフィックの状況に応じて複数設定するような対応が不要となる。

3.2 サイレント故障と類似する事象の検出

サイレント故障と類似した事象として、輻輳やエリア要因があり、相関係数の検出にて誤検出する可能性がある。そのため、サイレント故障とその類似事象を切り分ける必要がある。

(1)カルマンフィルタを用いた輻輳による類似事象検出処理

呼が増加し装置が過負荷となると、受付数に対して完了数は少なくなるため、事象としてはサイレント故障と類似する。

一般的にトラフィックは、24時間や1週間（平日と休日）、1年間（四季や花火大会などのイベント時期）などの時間的な変動周期が存在しており、この時間的な周期変動を学習し、その変動からずれを検出することで輻輳による異常を検出することが可能となる。

このトラフィック状態の学習には

*7 輻輳：通信の要求が短期間に集中してネットワークの処理能力を超え、通信に支障が発生した状態。

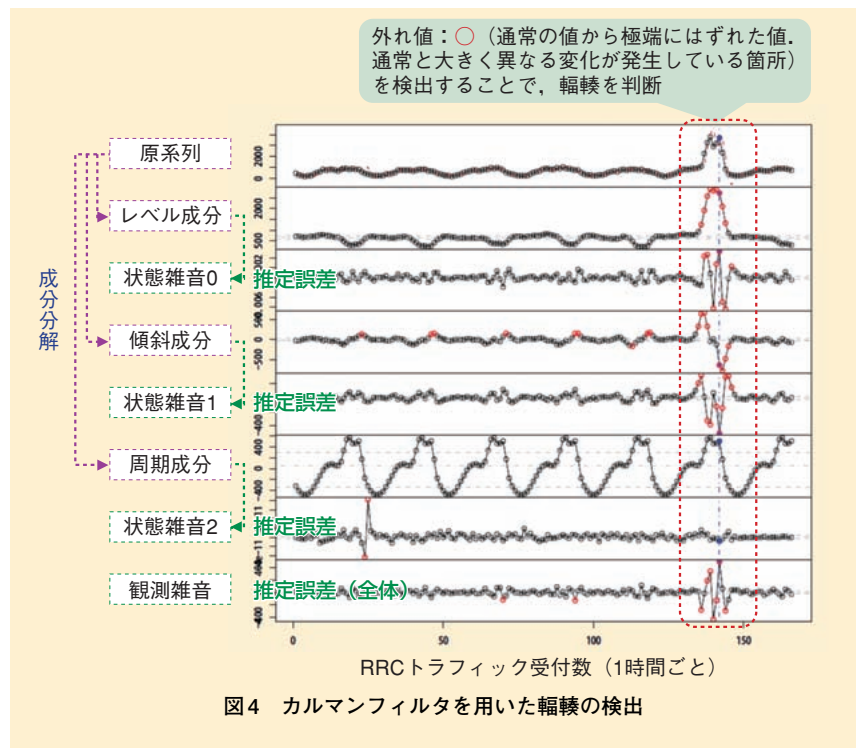
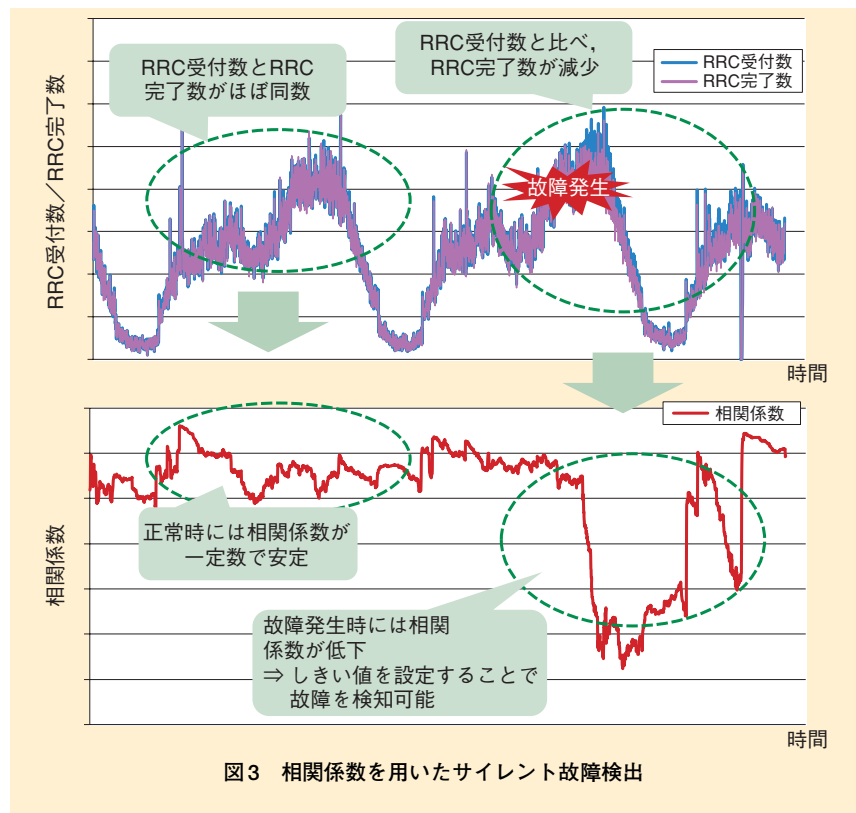
さまざまな方法があるが、本手法ではカルマンフィルタを用いた[4][5]。カルマンフィルタとは観測したデータを利用し、それらのデータに含まれる雑音成分を排除しながら、最も適切なシステム状態を推定する方法である[6]。本検討では、データがレベル成分と傾斜成分と周期成分に分解できるモデルに基づいて、カルマンフィルタの定義を行う。

具体的にはカルマンフィルタにより、1時間単位のRRC受付数およびRRC完了数に対して推定されるレベル成分、傾斜成分および周期成分において、それらの外れ値を算出することでサイレント故障を検出する(図4)。

(2)不完了数を用いたエリア要因での類似事象検出処理

一般的に、無線資源が豊富で正常な状態であれば、トラフィックが処理できない場合はまれであり、単位時間当たりの処理が完了しない数である不完了数は少なくなる。しかし、無線基地局装置がカバーするエリアによっては、RRC完了率が定常的に劣化するような事象が存在する。これは故障状態ではなく、無線資源の定常的な不足や無線セルの境による呼処理上の制約であることが多い。このような傾向が発生する事象を、エリア要因と定義する。

エリア要因の特徴としては、RRC完了率が定常的に劣化した状態で、かつRRC受付数・完了数に強く比例してRRC不完了数が増減する傾向があるので、この特徴を利用して、エリア要因により発生するトラ



フィック異常状態の検出を行う。

具体的には、RRC 受付数と RRC 不完了数、および RRC 完了数と RRC 不完了数との各々の相関係数を算出し、各相関係数のいずれかがあらかじめ決められたしきい値以上（相関が高い）場合にエリア要因と判定する。なお、エリア要因は、長期的な傾向から判断するため、利用するトラフィック情報の時間粒度は大きなもので十分であるが、曜日によるトラフィック傾向の変化は意識する必要があるため、1時間程度の時間粒度をもつトラフィックを曜日に分けて各相関係数を算出する。

4. 提案手法の実装

提案した手法について、保守システムであるナレッジシステム[7]の一機能として実装し、また、サイレ

ント故障の解析ロジックにかかわる部分について、シナリオで実装した。ナレッジシステムのイメージを図5に示す。

また、今回の技術を実現するにあたり、以下の新たな機能を追加した。
 (1)関連トラフィックデータの取得機能
 ナレッジシステムは、NE-OSS (Network Element-Operation Support System)^{*8}よりトラフィックデータを取得し、故障検出用データに加工する。

このとき、後段の処理で使用するトラフィックデータは、ある時刻のデータに加えて過去のデータも必要となる。また、全国のすべての無線基地局装置のデータが必要となるため、取得するデータが膨大となる。しかし、これまでのトラフィック取得機能においては、必要なトラフィ

ックデータを使用する都度、NE-OSSより該当データを取得する仕様となっており、同方式では、ナレッジシステムとNE-OSSとの間の電文受渡し性能がネックとなることが分かった。そのため、新しい方式のトラフィック取得機能を実装した。同機能の実装イメージを図6に示す。この新しい機能では、NE-OSSから定期的に全装置分のトラフィックデータを取得し、そのトラフィックデータをデータ展開用メモリに展開、保持する。そのため、故障検出にてトラフィックデータが必要な場合は、データ展開用メモリを検索することで必要なデータを取得することが可能となり、懸念となっていたデータ取得時の性能ネックも解消された。また、データ展開用メモリにおいては、分散Key-Value Store^{*9}とし

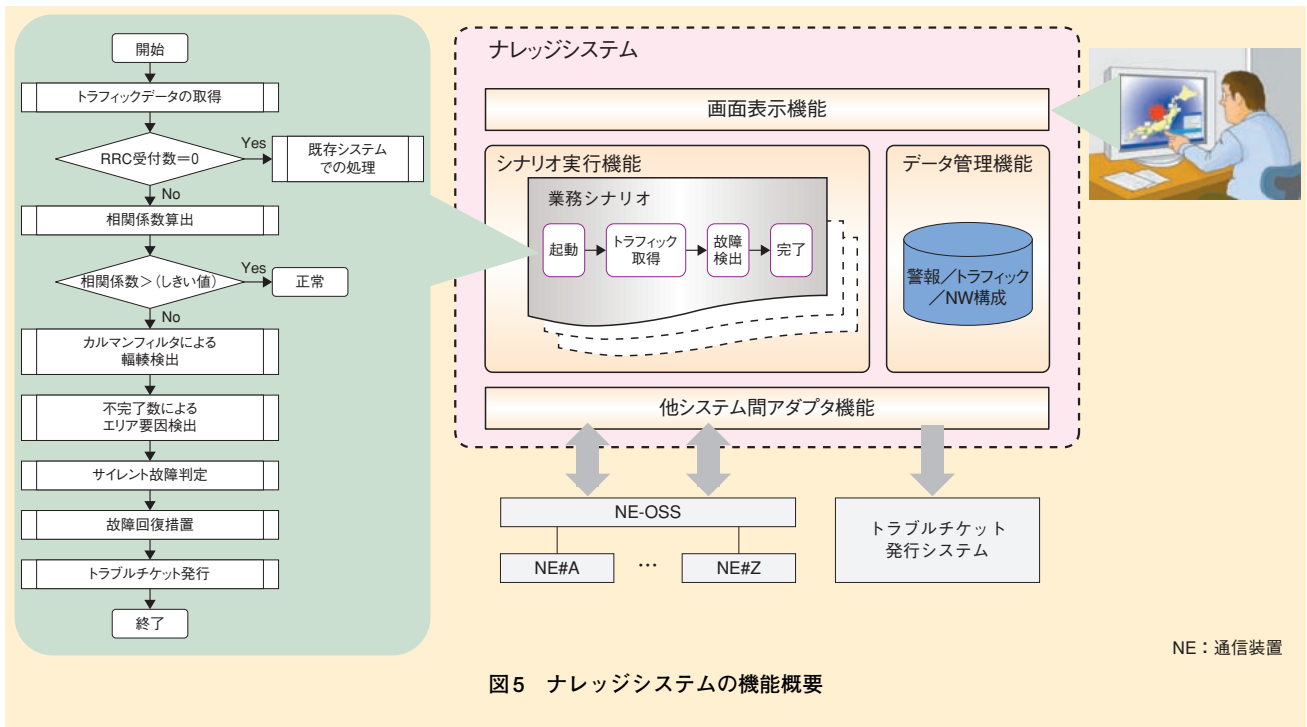


図5 ナレッジシステムの機能概要

*8 NE-OSS：通信装置の保守システム。

*9 Key-Value Store：データ (Value) に任意のラベル (Key) を付けて、「Key」と「Value」のペアからなるデータモデルに基づくデータの保存形式。

てデータ管理することで、基地局装置の増加や判定および学習に用いるトラフィック種別の追加に伴うトラフィックデータの増加にも、柔軟にスケールアウト可能となっている。

(2) 数理計算エンジン機能

これまでナレッジシステムでは、複雑な数値計算を必要とするシナリオが存在せず、計算についてもシナリオ実行機能の中で処理していた。しかし、今回の機能ではカルマンフィルタの計算において多量かつ複雑な数値計算が必要となるため、図7のようにシナリオ実行機能から呼び出すことが可能な数理計算エンジン機能を開発した。この機能においては、外部プログラム（OSS/市販アプリケーション/専用アプリケーションなど）も含む数理計算プログラムを実行できるように実装しており、今後の機能拡張も可能となっている。

5. あとがき

本稿では、トラフィック情報を用いた無線基地局装置のサイレント故障検出機能の開発について解説した。本技術により、従来の問題点を克服し、無線基地局装置のサイレント故障を、より迅速かつ正確に検知

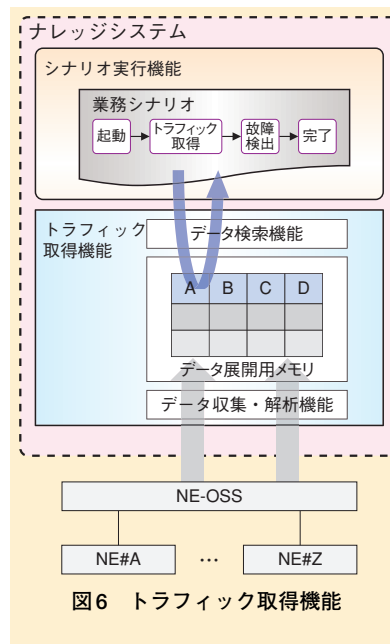


図6 トラフィック取得機能

することが可能になった。

今後はLTE^{*10}装置への適応に向けた検討を行う予定である。

文献

- [1] 和泉 勇治, 根元 義章: “ネットワークトラフィックの異常検知技術,” 信学総大, BS-5-1, Mar. 2008.
- [2] 神野 裕宣, 寒河江 佑太, ベンジャブール アナス, 古谷 雅典, 萩原 淳一郎: “トラフィック情報を用いた無線基地局装置のサイレント故障検出に関する一考察,” 信学技報, ICM2010-54, Vol.110, No. 466, pp.1-6, Mar. 2011.
- [3] 神野, ほか “大規模IPネットワークにおける高精度な障害切分けシステムの

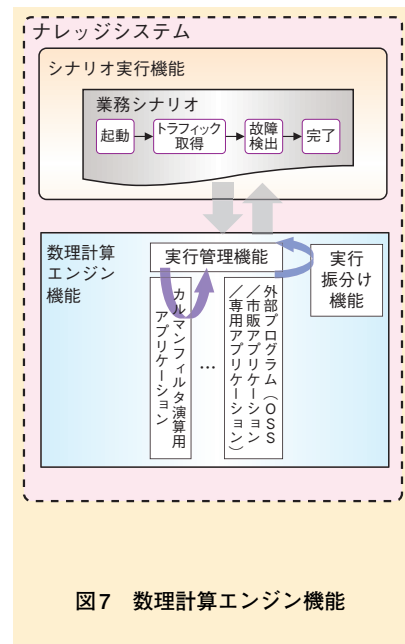


図7 数理計算エンジン機能

開発,” 本誌, VI.18, No.1, pp.21-26, Apr. 2010.

- [4] M. West and J. Harrison: “Bayesian forecasting and dynamic models,” Springer Verlag, 1997.
- [5] 萩原 淳一郎, ベンジャブール アナス, 寒河江 佑太, 神野 裕宣, 鶴澤 恭宏: “通信網監視にカルマンフィルタを適用した場合のモデル化,” 信学ソ大, B-14-1, Sep. 2010.
- [6] A. C. Harvey: “Forecasting, structural time series models and the Kalman filter,” Cambridge Univ Pr, 1991.
- [7] 小山田, ほか: “ネットワークオペレーションナレッジシステムの開発,” 本誌, Vol.12, No.2, pp.43-50, Jul. 2004.

*10 LTE: 3GPPの第3世代移動通信方式の拡張規格。