

ユーザ行動に基づく符号変換装置の故障検出方法 Fault Detection for coder/encoder based on the User Action

長野 伸一[†], 本藤 聡一郎[†], 氣賀澤 芳弘[†]
Shinichi Nagano, Soichiro Hondo, Yoshihiro Kigasawa

1. はじめに

電話サービスにおいて人のコミュニケーションを円滑に図るには通話品質が重要である。ネットワークの運用者にとって、通話品質を監視し、高い品質を維持することは重要な業務である。

ネットワークの保守運用では、装置からの異常を通知するアラームが重要であるが、通話品質の劣化を引き起こす故障の検出を装置のみで行うことは困難である。

これに対して、外部からの能動的な試験を定期的に行い、故障を検出する試みもあるが[1]、ネットワークの信頼性と負荷分散を目的とした冗長性から、必ずしも事象が再現するとは限らず、精度に欠ける。

また、通話品質劣化は人の主観であり、その検知には、通話品質の定量化[2][3]とそれに基づいた基準[4]の作成が必要である。これらを利用した故障検知方法もあるが、実用化にはコストの低減が課題である。

そのため、通話品質劣化故障はサイレントとなる可能性が高く、ユーザからの申告に頼ることが多く、長期化する傾向があり、その早期検出と被疑装置の特定がネットワークの保守運用上の課題となっている。

一方、通話品質が悪いと、ユーザは電話を掛け直すことが想像できる。

そこで、我々はユーザの利用状況から上記の問題を解決する手法を提案する。提案手法は、ユーザが著しい通話品質劣化故障に遭遇した場合、電話を掛け直す傾向があると仮定し、そのユーザ行動を抽出して、分析することで故障の発生と原因の装置を推定するものである。

さらに、我々は提案手法を商用に適用したフィールドトライアルを行い、その有効性を評価した。

その結果、通話品質劣化の原因の装置を使用した通話は掛け直される傾向があり、その通話時間と掛け直すまでの時間に特徴があり、当該手法が有効であることが得られた。

以下、2 章では議論の対象を明確にするために、前提とするネットワークの構成例を示し、通話品質劣化故障を整理する。次に、3 章で通話品質劣化に遭遇したユーザの行動を議論し、提案する故障検出手法を示す。4 章では、提案手法を商用に適したフィールドトライアルを述べ、提案手法の有効性を示す。

2. NW 構成と通信品質劣化故障の症状と原因

2.1 ネットワーク構成

電話サービスには、音声や映像を符号化・復号化する機能と、複合化データを転送する機能の二種類が必要であり、端末とネットワーク内の装置で実現している。通話品質の劣化を引き起こす故障は、左記の二機能の一方あるいは両方の機能不全であり、それを実現している端末あるいはネットワーク内の装置で発生する。通信品質の劣化を検出し、故障装置を特定する上で想定するネットワークの構成モデルとその特徴を以下に示す。ネットワークの構成モデルを図 1 に示す。

（１）メディア変換箇所
昨今の電話サービスは従来の PSTN に加えて、IP 網でも提供されており、両者の符号化は異なるので、その変換を行っている。そのため、音声や映像の符号化・複合化は端末のみではなく、符号化不全はネットワーク内でも生じる。

（２）装置の動的割当
ネットワークの信頼性向上および適切な負荷分散を目的に、ネットワーク内の装置およびルートは冗長化を図っている。同様に MGW もネットワーク内に複数台が存在する。

（３）通信履歴の保存
ネットワークの保守運用や料金算出のために、通話ごとの履歴（発着電話番号、開始終了時間など）を取得し、保存する機能を有する。その際に、冗長化装置の割り当てもあわせて保存する機能を有する。

複数ある装置およびルートの選択には、様々なアルゴリズムがあるが、いずれにしても通話ごとに割り当てられる方式である。

（４）通信履歴の保存

ネットワークの保守運用や料金算出のために、通話ごとの履歴（発着電話番号、開始終了時間など）を取得し、保存する機能を有する。その際に、冗長化装置の割り当てもあわせて保存する機能を有する。

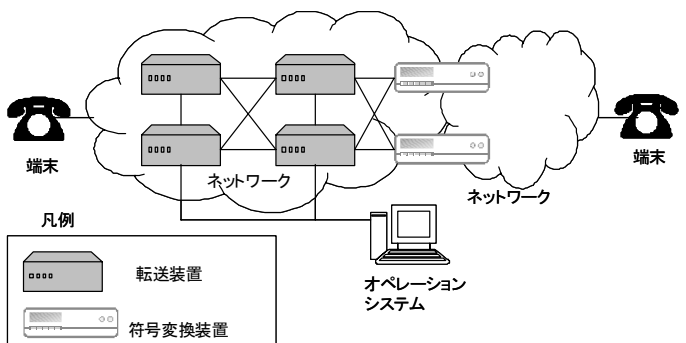


図 1 ネットワーク構成モデル

2.2 通話品質劣化の症状と原因

電話網の通信品質の劣化は、つながり易さを示す接続品質[5]と音や映像の良好さを示す通話品質[6]の 2 種類があり、本研究で対象としているのは通話品質である。

その通話品質には、片方向通話や雑音等の症状があり、それを引き起こす原因として、符号化・複合化不全（以降、符号化不全と略す）と転送不全がある。代表的な症状と故障原因の対応を表 1 に示す。

表1 通話品質劣化の症状と原因の代表例

名称	原因				
	利用環境	端末故障		NW 装置	
		符号化不全	転送機能不全	符号化不全	転送機能不全
片通話		●	●	●	●
雑音	●	●	●	●	●
ハウリング	●		●		
エコー	●	●	●		
音切れ		●	●	●	●

(1) 片方向通話

正常な通話が双方向であるのに対して、一方向の通話のみが良好で、もう一方の通話が不通となる事象である。その原因には、端末およびネットワーク内の装置の故障が想定される。故障原因の範囲が広く、その追究は容易ではない。

(2) 雑音

ユーザの意図しない音声や映像以外の音や信号が通話内に入り込む事象。その原因には、符号化不全と転送機能不全のほか、使用環境に起因する場合もある。多くの原因が想定されるため、原因追及は容易でない。

(3) ハウリング

出力が入力になることで増幅し、不快な音となる事象。端末側の故障や使用環境が原因の場合が多い。多くの場合、端末側に原因があり、範囲を限定可能で、端末側装置の交換等で対処することが多い。また、ハウリングを防止する機能を利用することもある。

(4) エコー

反響。音波が返って来る事象。端末側の故障や使用環境が原因の場合が多い。これも端末側に原因があることが多く、端末側装置交換で対処することが多い。

(5) 音切れ

音声・映像データの一部が瞬間的に降下すること。転送機能不全と符号化不全の両方が原因として考えられる。故障原因の範囲は広く、原因追究は容易ではない。

以上の説明から、通話品質の劣化を引き起こす原因の内、転送機能不全は装置単体あるいは外部からのサンプル検査で容易に検知可能であるが、符号化不全は装置自律での検知が困難である。

また、端末側の故障は装置交換等の対処が可能であるが、ネットワーク側の故障は規模が大きく、その検知も対処もコストがかかる。

そこで、本論文では、ネットワーク内で生じる符号化不全に対する事象検知と原因装置の特定を対象とすることとする。

3. 故障検知と原因装置の特定手法

3.1 故障時のユーザ行動

著しい通話品質劣化に遭遇したユーザは、電話を掛け直す傾向があると、想定している。我々の提案手法は、このようなユーザ行動を元に通話品質劣化故障を検知しようとするものである。

しかし、故障以外でも電話を掛け直すことがあるのは容易に想定できる。たとえば、伝達内容の伝え漏れ、料金負担の変更、操作誤りによる誤切断などがある。

それでも、ユーザが当該故障に遭遇すると、通話時間や掛け直すまでの時間間隔などに故障時特有の特徴があると想定している。

以下に、著しい通話品質劣化故障に遭遇したユーザが、電話を掛け直す行動として、仮定している特徴を説明する。また、その特徴を図2に示す。

(1) 連続した同じ番号への接続

著しい通話品質劣化故障に遭遇した場合、最初からやり直すことで、状況が改善される場合がある。また、そのことをユーザは経験的に知っている。電話の場合、いったん切断し、また同じ番号に接続することがこれに相当する。当該故障に遭遇したユーザは、その事象直後に同じ番号と接続すると、想定される。

なお、電話を掛け直した最初の通話を被疑通話、その後に掛け直した通話を再通話と呼ぶこととする。

(2) 被疑通話の通話時間は短い

通話品質の劣化は、ユーザのコミュニケーションを阻害し、最終的にユーザは終話を余儀なくされる。そのため、その通話時間は短いと想定される。

(3) 掛け直す間隔は短い

当初の目的を達成し、別な目的で同じ対置に電話を掛ける場合、相当な時間経過の後であることが多いことが想定できる。特に、電話の使用頻度が低いユーザでは、図らずも連続して同じ対置へ電話をかける偶然はありうる。また、定期的な通信の場合、同一番号への発信であっても、一定時間の経過後であることが想定できる。

ところが、通話品質が悪く、コミュニケーションを図ることが困難で、終話を余儀なくされ、掛け直す場合の時間間隔は短いことが想定できる。

3.2 故障検出手法

著しい品質劣化故障に遭遇したユーザの行動特徴を利用した故障検出手法を述べる。

刻々と発生する通話の中から、電話を掛け直した事象を抽出し、故障発生の有無を検知し、さらにその通話で使用した装置を集計し、偏りを調べることで、故障装置を特定するのが、本論文で提案する手法の概要である。

以下に、具体的に手法を述べる。

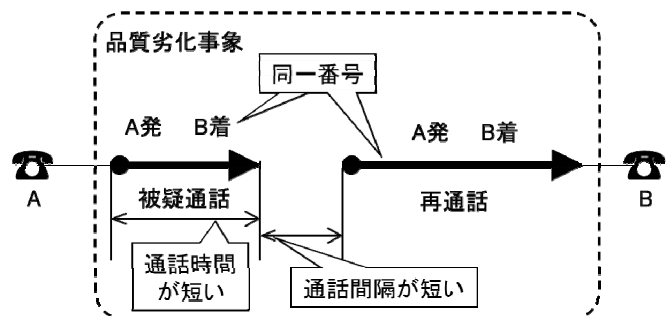


図2 通話品質劣化故障に遭遇した際の掛け直しの特徴

3.2.1 通信履歴データの取得

ある通話(T)を、発信者(p)、対置(q)、通話開始時間(ts)、通話終了時間(te)、使用した装置の集合(ω)として、 $T(p,q,ts,te,\omega)$ と記す。

提案手法における最初の作業は、ネットワーク内の全てのTを収集することである。

なお、このデータを通信履歴データと呼ぶ。

3.2.2 被疑事象の抽出

通信履歴データから、掛け直している通話の組(被疑通話と再通話)を抽出する。抽出条件は、前節で述べた故障時のユーザ行動に基づく。詳細を以下に示す。

まず、連続した同じ番号への接続の条件を示す。通信履歴データをUとし、 $te1 < ts2$ を満たす一組の通話(T1,T2,U)を考える。通話T1およびT2の定義を式(1)に示す。

$$\begin{aligned} T1 &= T(P,Q,ts1,te1,\omega1) \\ T2 &= T(P,Q,ts2,te2,\omega2) \end{aligned} \quad \dots \text{式(1)}$$

なお、Pは通信元、Qは対置、 $ts1, ts2$ は通話開始時間、 $te1, te2$ は通話終了時間でそれぞれ $ts1 < te1, ts2 < te2$ であり、 $\omega1$ と $\omega2$ は使用したネットワーク内の装置の集合を示す。

掛け直すことは、このT1およびT2間でPからの任意の対置への通話T3が存在しないことであるから、式(2)で定義される。

$$\begin{aligned} T3 &= \{T(P,*,ts3,te3,\omega3) \mid te1 < ts3, te3 < ts2\} \\ T3 &= \{\} \end{aligned} \quad \dots \text{式(2)}$$

ただし、T3の対置に示した*は任意の対置を意味する。

次の「品質劣化通話の通話時間が短い」は、式(3)で与えられる。

$$te1 - ts1 < \alpha \quad \dots \text{式(3)}$$

最後の「掛け直す間隔は短い」は式(4)で与えられる。

$$ts2 - te1 < \beta \quad \dots \text{式(4)}$$

ただし、 α と β は定数とする。

3.2.3 品質劣化故障の検知と被疑装置の特定

前節で抽出した被疑事象(被疑通話と再通話)の内、被疑通話のみを取り出し、使用しているネットワーク内の装置に偏りがあれば、故障発生と判断し、その装置が被疑装置である。

ネットワーク内の装置の偏りを調べるには、被疑通話T($T=U$)の ω を利用する。 ω は装置の種類(V)と個々を識別する識別子(W)からなる。 $v_i \in V (i=1,2,\dots,n)$ および $w_j \in W (j=1,2,\dots,m)$ とすると ω は式(5)で与えられる。

$$\omega = \{(v_i, w_j)\} \quad \dots \text{式(5)}$$

VとWには既存の設備情報を流用することができる。たとえば装置種類に装置名を、識別子にIPアドレスを利用できる。

装置の偏りは、識別子ごとに、単位時間当たりの被疑通話数を算出し、正常時を母集団とした基準に対して外れ値である場合を故障と推定する。すなわち、装置種類 v_i の装置 w_j に対する単位時間当たりの被疑通話数を C_{ij} とし、その装置の正常時の被疑通話数の平均値を D_{ij} 、標準偏差 E_{ij} 、 y を定数とすると故障発生の推定は式(6)で与えられる。

$$C_{ij} > D_{ij} + y E_{ij} \quad \dots \text{式(6)}$$

これを各装置に対して確認して、故障の発生有無の判断と故障装置の特定を行う。

4. フィールドトライアルの実施とその結果

4.1 フィールドトライアルの実施環境

フィールドトライアルは、商用の電話サービスを対象に行った。電話サービスはIPネットワークおよびPSTNで提供されており、各々、複数のエリアに分割されている。PSTNとIPネットワークの相互接続点はエリアごとにある。

符号化は、端末およびIPネットワークとPSTNの間での2箇所であり、ネットワーク内の符号化は相互接続点のIPネットワーク側に設置した装置(MGW)で行っている。

通話を接続するためのルーティングはネットワーク内の転送装置内の設定に従い、負荷分散のためのルート選択も転送装置で行う。ただし、複数あるMGWの選択は、MGW管理サーバが通話ごとに単純なラウンドロビンで決定する。

MGW管理サーバは一つのエリア内に複数あり、それぞれ割り当て可能なMGWがあらかじめ決められている。MGW管理サーバの選択は転送装置が行い、その割り当て方式もラウンドロビンである。

提案手法に必要な通信履歴データは、オペレーションシステムで取得した。

フィールドトライアルの環境イメージを図3に示す。

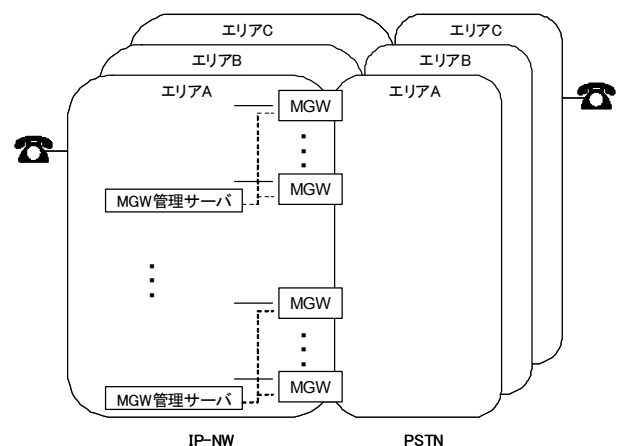


図3 フィールドトライアル環境

4.2 フィールドトライアルの実施

一定期間に渡り、通信履歴データを取得し、その間に、3件の通話品質の劣化を症状とする故障に遭遇した。遭遇した故障の症状と故障箇所、故障装置台数、提案手法の評価に当たっての留意点を表2に示す。

表2 フィールドトライアルで遭遇した故障概要

No.	症状	故障箇所	台数	備考
1	片通話	MGW	1台	
2	雑音	MGW	1台	一部の通信履歴データが欠損
3	片通話	端末	少数	エリア内の複数の端末で発生

No.1の故障は、片通話であり、1台のMGWの故障であった。当該MGWを利用した大半の通話は片方向通話であったが、ハードウェアの部分的な故障であったため、一部に良好な通話もあった。

No.2もMGWのハード故障であったが、No.1とは異なる部位の故障であり、その症状は雑音であった。

データの収集においては、保守運用上の都合から、全てのサーバの通信履歴を取得することができなかった。複数あるサーバの内、故障しているMGWを管理するサーバのみの通信履歴を取得することができたが、それ以外のMGWを使用した通話の履歴を取得することはできなかった。

No.3は端末の故障である。症状は片通話であった。ソフトウェアの故障であったため、同じエリア内の同一機種の複数の端末が、同時期に発症した。

4.3 提案手法の評価

フィールドトライアルを通して確認したいのは、次の二つである。ひとつは、提案手法が3.1(1)~(3)を仮定していることから、これらの仮定が正しいか否かである。もう一つは、提案手法が著しい通話品質の劣化故障を検知可能であり、加えてその原因の特定に有効であるか否かである。

フィールドトライアルで取得できた故障は、症状・故障箇所・通信履歴データの取得状況が異なる。特に、No.2の故障では、正常な装置の通信履歴データが欠損しており、再通話のデータも欠けている場合があり、電話の掛け直すユーザ行動の信憑性を確認できない。したがって、一律、同じに上述の評価を行うのは困難である。

一方で、ネットワークの保守運用の観点からは、ネットワーク内の故障の検知と装置特定が優先である。No.1およびNo.2の検知がNo.3に優先する。

そこで、提案手法の評価では、No.1を中心に議論を進め、補助的にNo.2およびNo.3の故障を利用する。さらに、No.3の故障で、ネットワーク側ではなく、端末側の故障であっても提案手法がネットワークの保守運用を行う上で、誤った対処に導かないか否かを確認する。

4.3.1 連続して同じ番号に接続するユーザ行動

No.1におけるMGWごとの被疑事象の発生割合を図4に示す。横軸にMGWを並べ、被疑通話の割合を棒グラフで示した。同一エリア内でMGWはラウンドロビンであるため、正常時であれば、MGWごとの通話数はほぼ一定であ

り、同じ理由で再通話の割合も同じである。No.1の故障時、MGWごとの通話数はほぼ同じであるが、故障したMGWでは被疑通話の割合が高く、掛け直している割合が高いことがわかる。

掛け直す事象が故障MGWに多い傾向を確認するために、統計手法を用いて検証した。正常なMGWを使用した通話全体を母体とした平均と標準偏差を元に、母集合に対して外れ値か否かを確認した。その結果、故障したMGWを被疑通話とした掛け直す事象数と母平均の差は標準偏差の3倍以上あり、外れ値であることが得られた。

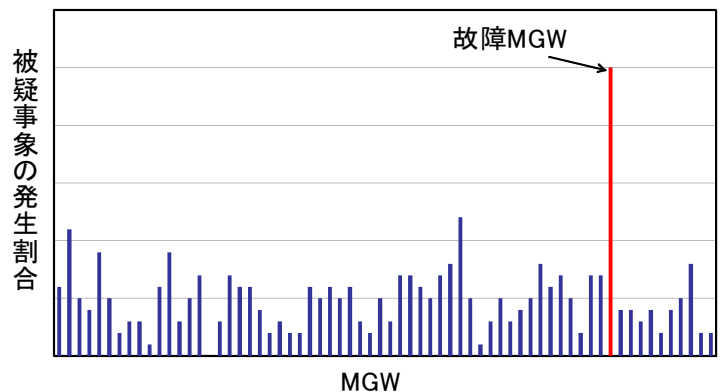


図4 MGWごとの再通話の発生頻度

また、No.3の故障では、再通話数が通常よりも増加し、MGWごとのばらつきが大きくなっている傾向は確認できたものの、特定のMGWの偏りは確認できなかった。ところが、電話番号ごとに再通話の頻度を比べてみると、特定の番号に偏っていることがわかる。とりわけ、発信と着信に分けると、その傾向は顕著である。すなわち、発信よりも着信において、再通話の割合が多い。No.3における発信の掛け直し事象の頻度のグラフを図5および図6に示す。

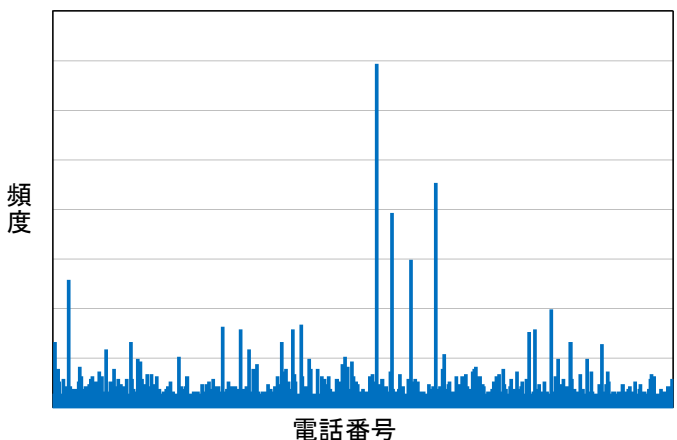


図5 No.3故障の着信通話での掛け直し

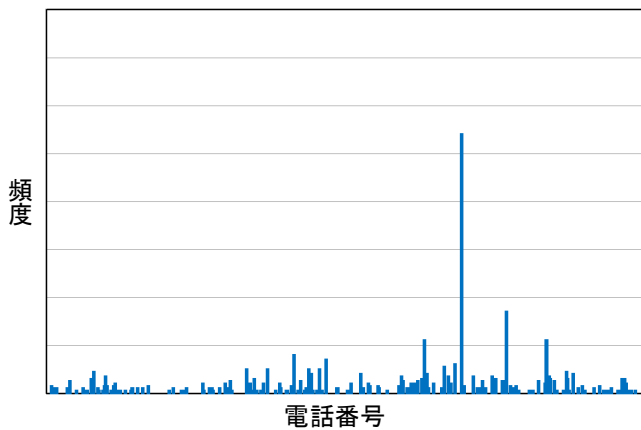


図6 No.3 故障の発側での掛け直し

これは、故障端末を使用しているユーザは、当該事象を多く経験しており、原因を知っているか否かは不明ではあるが、掛け直しても状況が改善されないことを知っており、通話をあきらめるか、もしくは別な手段を利用したためと考えられる。

以上から、やはり通話品質劣化故障がユーザに電話を掛け直させるきっかけになっていることがわかる。掛け直し事象をネットワーク内の装置故障の症状のひとつとして、考えることは妥当である。

4.3.2 通話品質劣化通話の通話時間が短い

装置の故障を確認した期間の通話履歴データから被疑事象を抽出し、正常な装置を使用した通話全体を母体とし、故障装置を使用した通話を標本として、仮説検定を行った。その際の仮説は「通話品質の劣化した通話時間は、通常の通話時間と異なる。」であり、その帰無仮説は「通話品質の劣化した通話時間も、通常の通話時間と同じである。」である。

母体と標本の平均と分散、検定結果を表4に示す。結果は、有意であり、仮説は棄却された。したがって、通話品質の劣化した通話と正常な通話とで差異があるとはいえない。

一方、品質が悪く切断するのは、掛け直しに限らず、そのまま断念することも十分想定できる。そこで、母体を被疑通話に限定することなく、故障が確認できた期間の通話全体とし、標本も故障したMGWを使用した全ての通話として、再度、仮説検定を行った。その結果、帰無仮説は棄却され、仮説が有意となった。結果を表5に示す。同様に、No.2の場合でも故障MGWと正常MGWで、通話時間の差異が確認された。

表4 被疑通話の通話時間の検定結果

平均値検定	有意差	分散検定	有意差
0.185	なし	0.260	なし

表5 故障したMGWを使用した通話時間の検定結果

平均値検定	有意差	分散検定	有意差
0.124	なし	0.026	あり

また、No.1における正常なMGWと故障したMGWの通話時間とその頻度を図7および図8に示す。正常な装置のグラフが鋭利であるのに対して、故障装置のグラフは鈍化している。これは、グラフの鋭利さを示す統計量である尖度の変化にも表れている。尖度の変化を表6に示す。

以上から、故障したMGWを使用した場合、通話時間のばらつきが大きくなっていることがわかる。

これは、装置の故障によって、コミュニケーションを図る努力を試みる場合や、あきらめる場合、その組み合わせが、人の性格や話者間の関係、経験などによって異なり、それらが通話時間に影響したためと考えられる。

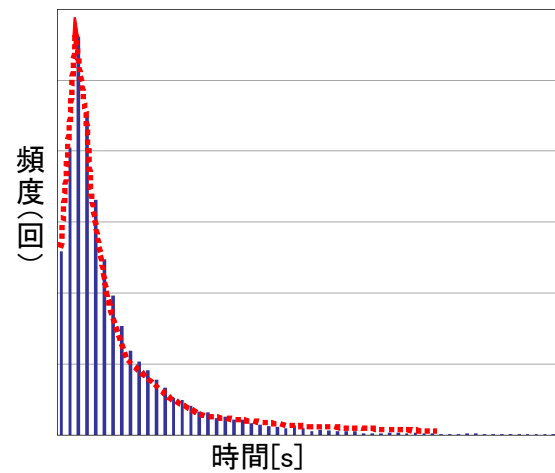


図7 正常な装置を経由した通話時間

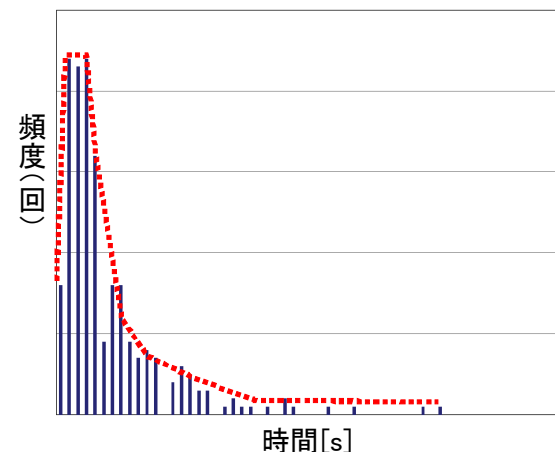


図8 被疑装置を経由した通話時間

表6 正常/故障のMGWの尖度

MGW	尖度
正常	6.96
故障	2.05

4.3.3 掛け直し間隔は短い

まず、故障の無い平時の場合の掛け直しの通話の時間間隔ごとの頻度を図9に示す。正確に、一定間隔で掛け直している通話が多いことがわかる。これらは定期的なデータ通信等と考えられる。

掛け直しが故障以外でも頻度が高く発生している傾向を鑑みると、故障による掛け直し（被疑事象）をより精度良く抽出するには、間隔時間を一定時間以内に設定するのが有利である。

装置の故障を確認した期間の通話履歴データから被疑事象を抽出し、正常な装置を使用した通話全体を母体とし、故障装置を使用した通話を標本として、検定を行った。その際の仮説は「通話品質の劣化により掛け直し際の時間間隔は、平常時の掛け直しの時間間隔と異なる。」であり、その帰無仮説は「通話品質の劣化により掛け直し際の時間間隔は、平常時の掛け直しの時間間隔は同じである。」である。

検定の結果を表7に示す。結果は有意であり、故障が掛け直しの時間間隔に影響を与えることが得られた。

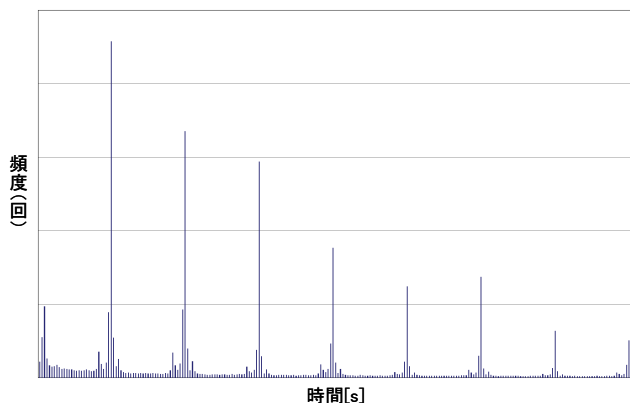


図9 掛け直し通話の時間間隔

表7 掛け直し時間間隔の検定結果

平均値検定	有意差	分散検定	有意差
0.003	あり	0.038	あり

4.3.4 提案手法の有効性

提案手法に必要なデータを全て取得できた No.1 および No.3 に適用した結果を表8に示す。

No.1 は故障を検出し、装置を特定することができたが、No.3 は故障検出には至らなかった。これは、No.3 が端末故障であるのに対して、提案手法がネットワーク内の装置の故障発生を対象にしており、端末を対象にしていなかったためである。端末の故障により、再通話が通常より多く発生したが、ネットワーク内に複数ある符号化・複合化装置に分散され、異常とは検知されなかった。さらに、故障した端末が少数であったことも起因していると考えられる。

一方で、仮に対象を端末まで拡大した場合、再通話の数が多い端末では故障を検知可能であるが、使用頻度の低い

端末の検知は困難であった。ネットワークの運用では端末までは監視しておらず、必要性は無いが、提案手法を端末の故障検知に適用するには多くの課題がある。

逆に、No.3 の事象をネットワーク内の故障であると誤検知しなかったことは提案手法が有効であることを示している。

ただし、No.3 の故障数が少数であったことも考えると、今後も商用での情報収集を続け、評価することが必要と考える。

表8 提案手法の適用結果

事例	適用結果
No.1	故障装置を検出
No.3	故障を検出せず

5. おわりに

ネットワーク内の符号化・複合化装置の通話品質を劣化させる故障の検知と被疑装置の特定を行う手法を提案し、フィールドトライアルを通してその有効性を示した。提案手法は、装置の製造コストを上げることなく、また、ネットワークの保守運用業務で行われるサンプリング試験よりも網羅的に検知できることが特徴である。

今後は、実用化に向けて、更なる事例の収集を進める予定である。

参考文献

- [1] U. Sedlar, M. Volk, J. Sterle, A. Kos, R. Sernec, "Contextualized monitoring and root cause discovery in IPTV systems using data visualization," Network, IEEE, vol.26, no.6, pp.40-46, November-December 2012.
- [2] 高橋玲, 吉野秀明, 北脇信彦, "(解説論文) IP 電話サービスの通話品質評価技術," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J88-B, No.5, pp. 863-874, 2005.5.
- [3] 高橋玲, "音声・映像サービス品質評価・推定技術および標準化動向," 信学誌 Vol.91, No.2, pp.87-91, 2008.2.(INVITED)
- [4] TTC 標準 JJ-201.01 (2006年6月) IP 電話の通話品質評価法 第3版
- [5] ITU-T E.721(05/1995), "Network grade of service parameters and target values for circuit-switched services in the evolving ISDN"
- [6] ITU-T G.107(03/2005), "The E-model, a computational model for use in transmission planning"