

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330111

研究課題名(和文)サイバーフィジカルシステム型QoEトラヒック制御方式の研究

研究課題名(英文)Research on QoE traffic control based on cyber physical system

研究代表者

吉野 秀明 (YOSHINO, Hideaki)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：00644816

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、通信ネットワーク上で生じる輻輳ならびに異常トラヒックを実時間で検知・抑制し、ユーザ体感品質を向上させるトラヒック制御技術の確立を目的とし、次の成果を得た：災害時でも双方向の通話を実現する予約型輻輳制御方式および最短通話優先方式を考案し、輻輳時の再呼の抑止、ネットワーク負荷の低減、予約待ち時間の短縮・安定化に繋がることを確認した。異常トラヒック検知のためのデータ削減法であるスケッチ法を対象に、パラメータが異常トラヒック検知に要する処理時間および検知精度に与える影響を検証し、実運用時のパラメータ選定の指針を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Traffic controls that can satisfy users' Quality of Experience (QoE) requirements are essential in operating communication networks efficiently and robustly. In this research, we try to find QoE oriented traffic control schemes that detect anomaly traffic and suppress congestion in communication networks. Firstly, we proposed the reservation congestion control scheme which realizes the interactive voice communication efficiently under the condition of congestion after disasters. It was clarified that the proposed method can achieve a high call completion rate and suppress the reservation delay using improved method applying priority control. Secondly, we also verified the processing time and traffic anomaly detection accuracy with a sketch scheme as a data reduction method for traffic anomaly detection. A guideline was clarified for selecting two sketch parameters: the number of hash functions and hash table size in real network operation.

研究分野：情報学

キーワード：トラヒック制御 輻輳制御 異常トラヒック検知 スケッチ

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンやタブレットなどの通信端末の進化、同端末上で動作するアプリケーションの多様化に伴い、通信ネットワーク上の情報の流れである「通信トラヒック」の構造が大きく変化し、通信ネットワークの混雑現象(以下、輻輳という)が問題となってきた。また、インターネット利用の拡大に伴い、DDoS 攻撃などの異常トラヒックがより深刻化してきている。

従来から、通信ネットワークの輻輳を解消する技術として、チケット予約などの企画型輻輳や災害時の見舞い呼などの輻輳に対する制御技術が電話ネットワークを対象として開発・導入されてきた。従来の輻輳制御は、ネットワークの輻輳状況を示す尺度に基づき通信回線や交換機のCPUリソースなどのネットワークリソースの有効活用を図ることを目的としている。このため、従来の制御技術では、ユーザが実際に感じる品質(以下、ユーザ体感品質、QoE: Quality of Experienceと略す)の改善に直接結びつかないという問題点があった。すなわち、ネットワークを守ることに主眼を置いたネットワーク中心の技術であり、ユーザ視点に立った技術ではなかった。

また、インターネットの普及拡大に伴い、セキュリティ上の問題を引き起こすワーム、ポートスキャン、DDoS 攻撃などの異常トラヒックを検知する技術も従来から検討されてきた。しかしながら、近年のトラヒック急増に伴うネットワークの高速化に対応できるオンライン異常トラヒック検知技術は、まだ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究は、通信ネットワーク上で生じる輻輳ならびに異常トラヒックを実時間で検知・抑制し、ユーザ体感品質を向上させるトラヒック制御技術の確立を目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、主に電話網を対象とした既存輻輳制御技術の課題を解決する、ユーザ視点に立った災害型輻輳に対するトラヒック制御方式の提案・評価、ならびに、インターネットを対象とし、ネットワークの高速化に対応可能な異常トラヒック検知技術の性能評価に関して、以下を検討する。

(1)災害型輻輳に対する予約制御方式

既存の電話網の輻輳制御方式として、単位時間当たりの接続呼数を一定呼数以下にする呼数密度制御に基づくトラヒック制御システム(TCS:Traffic Control System)による制御が適用されている。TCSは、輻輳している交換機が扱えるトラヒック総量を算出し、全国の交換機に総量配分し、発信規制指示を出す。全国の交換機は、この指示に基づき発信規制を実行する。この規制により交換機の

輻輳は回避されるが、被災地域への発呼を発呼元の加入者交換機側で規制するため、再呼による負荷の増大を招くなど、輻輳の根本的な解決策となっていない。規制時のサービスとして災害用伝言ダイヤルがあるが、片方向の伝言のみで、双方向のコミュニケーションをとることが出来ないため、直に相手の声を聞きながら双方向の会話をしたいというユーザの要求を満たしていない。

これらの課題を解決するトラヒック制御方式を考案し、シミュレーションにより既存輻輳制御方式との特性を比較評価する。

(2)異常トラヒック検知のためのデータ削減法の性能評価

異常トラヒックを検知するための元データとしては、カウンタ情報として集約したMIB(Management Information Base)データでは異常元の特定ができないなど不十分であり、pcap(packet capture)データなどのパケットヘッダ情報を含む詳細データが必要となる。したがって、ネットワークの高速化に対応できる異常トラヒック検知技術には、膨大な元データを効率的に削減するためのサンプリングやスケッチなどのデータ削減法が必須となる。

本研究では、オンラインで高効率に異常トラヒックを検知しトラヒック制御に繋げる検討の一環として、ネットワークの高速化に対応するために必須となるデータ削減法の一つであるスケッチ法に着目する。従来のスケッチ法に関する研究では、スケッチ後の異常検知アルゴリズムに焦点が当てられ、スケッチのパラメータであるハッシュ関数の数およびハッシュテーブルのサイズについて十分に議論されていない。そこで、これらのパラメータが処理時間と異常検知精度に与える影響について実データを用いて検証し、実運用時にこれらのパラメータを選定する際の指針を明らかにする。

4. 研究成果

(1)災害型輻輳に対する予約制御方式

輻輳時にも再呼を抑制し電話による直接の会話を実現する予約型輻輳制御方式(RCS:Reservation Control System)を提案した。

Reservation Control System

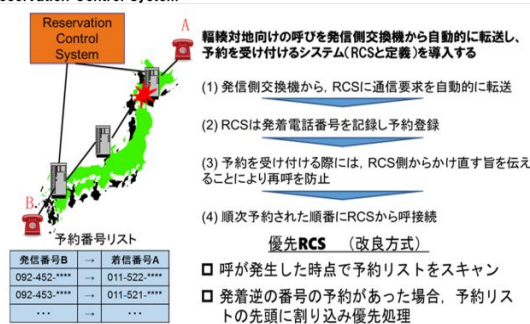


図1 予約型輻輳制御方式の制御フロー

RCS方式の制御手順を以下に示す(図1)。

【RCS方式】

発呼時に、加入者交換機から予約管理サーバに通信要求を自動的に転送する。

予約管理サーバは発着電話番号を予約リストに登録し、通話を予約する。この際、ネットワーク側から掛け直す旨のトークを流すことにより再呼を抑制する。

順次予約された順番に呼接続する。

上記のRCS方式を基本とした改良方式として、以下の2方式を提案した。

【優先RCS方式】

RCSの改良方式として、発呼時点で予約リストをスキャンし、発着逆の番号の予約があった場合、予約リストの先頭に非割り込み優先処理を実施し、回線が空き次第、優先的に接続する。以降、これを優先RCSと呼ぶ。

この改良方式により、相互に通話を要求しているユーザを優先的に繋げることで、ユーザにとってのQoEを向上させると同時に、相手不在等による無効な呼処理を低減させる効果が期待できる。

【最短通話優先方式】

優先RCS方式を基本として、更に、ユーザの予約待ち時間の改善を図る方式として、発呼時に希望通話時間を登録し、通話時間が短い登録者から優先的に接続する方式である(図2)。優先的に短い通話時間から接続する、いわゆる最短処理時間優先方式であるため、平均待ち時間の短縮が期待できる。また、既に予約済の番号の組に対する再予約呼は予約リストの最後列に並び直す旨をアナウンスすることで、再予約を抑制する。

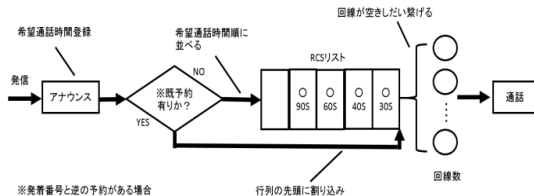


図2 最短通話優先方式

以下の条件のもとで、シミュレーションにより呼接続完了率、平均予約待ち時間の特性を評価した。

3地域から構成され、1地域で災害が発生し、他2地域から見舞い呼が集中するモデルを対象に、離散型シミュレーションを用いて、特性を評価した。TCSとRCSを対象とした、呼の生起率に対する平均呼接続完了率の比較結果を図3に示す。RCSは、高負荷時においても高い呼接続完了率を実現できることが判る。

優先RCS方式および最短通話優先方式の有効性を検証するため、被災地域とその他の地域の2地域からなるモデルを対象に、平均予約待ち時間特性を評価した結果を図4に示す。ここでRCSの平均予約待ち時間はM/M/c待ち行列モデルにより理論値を算出した。また、最短通話優先方式を適用した際のユーザの

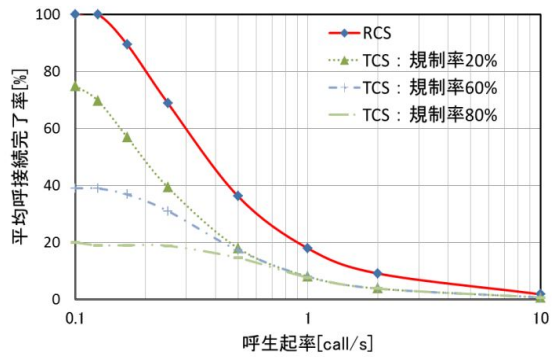


図3 平均呼接続完了特性

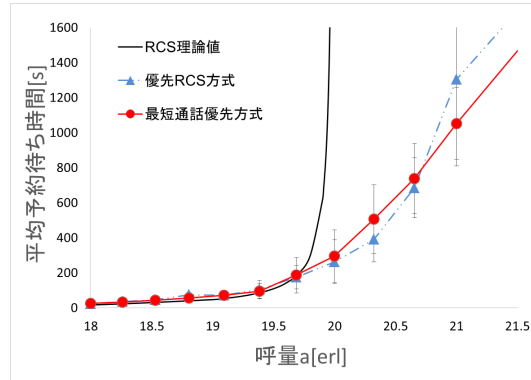


図4 平均待ち時間特性

希望通話時間は、災害時の安否確認を想定したユーザアンケート調査(有効回答数63名)を実施し、平均63秒、変動係数0.72となったことから、2次のアーラン分布とした。同図より、RCSに対して優先RCSは、高負荷時においても予約待ち時間を抑制可能であることが判る。さらに、最短通話優先方式は優先RCSと比べ、高負荷時に平均予約待ち時間が抑えられることが確認できる。また、平均待ち時間の標準偏差の特性も優先RCSに比べ最短通話優先方式は、分散を低く抑えることが確認できた。

(2) 異常トラヒック検知のためのデータ削減法の性能評価

異常トラヒック検知に有効なデータ削減法であるスケッチ法は、大規模なデータを小サイズの集約データ形式に圧縮し、主記憶上に保持することで効率のよい計算を実現する技術である。スケッチ法の実行手順を以下に示す：

[ステップ1] 送信元あるいは宛先のIPアドレスなどのキーをN種類のハッシュ関数に入力する。

[ステップ2] 出力されたハッシュ値によりサイズMのハッシュテーブルを作成し、同時にハッシュ値毎のカウント情報(パケット数)を更新する。

[ステップ3] ハッシュテーブルを作成する際にキーの衝突(同一のハッシュ値に対して複数のキーが対応)が起こった場合は、チェイン法を用いて同じハッシュ値を持ったキーを連結リストによってつなげる。

[ステップ4] 得られたカウント情報に対し

て異常検知アルゴリズムを適用し、閾値を超えた箇所を異常として検知する。

以上の手順を複数のハッシュ関数に適用することで異常に関わる IP アドレスを特定しやすくなる。すなわち、異常を検知したハッシュ値のハッシュテーブルに登録してあるキーと別のハッシュ関数によって作成され、異常を検知したハッシュ値のハッシュテーブルに登録されたキーを比べ、同じキーが登録されていた場合、そのキーが異常に関わるものであると判定する。

以下、スケッチ法を適用した際の処理時間および異常検知精度を検証する。評価データには WIDE プロジェクトが提供する MAWI トレースを用いた。このデータは日米国際リンクを流れるパケットを毎日 14 時から 15 分ずつ収集・蓄積したものである。使用したハッシュ関数は、General purpose hash function algorithms の 11 種である。

まず、スケッチ法に適用するハッシュ関数を選定するため、ハッシュ関数の性能を評価した。スケッチ法では、一般的にハッシュ関数に求められる要件である一様性、すなわち、サイズ M のテーブルへの出力ができるだけ偏らずに一様に分布するようにマッピングすることが必要となる。このため、ハッシュ関数の処理時間に加えて、一様性の尺度として、ハッシュ値毎の IP アドレスの異なり数の変動係数も評価した。10 秒間のデータに対して、宛先 IP アドレスをキーとして 11 種のハッシュ関数に入力し、ハッシュ値で 1024 分割した際の各ハッシュ関数の処理時間およびハッシュ値毎の IP アドレスの異なり数の変動係数を算出した結果を図 5 に示す。同図から処理時間に大差はないが、変動係数が 0.5 未満で一様性の要件を満たすハッシュ関数 6 種 (RS、BKDR、DJB、FNV、AP、JS : いずれの名称も開発者のイニシャル) を選定した。

次に、これら 6 種のハッシュ関数を用いて、スケッチのパラメータであるハッシュ関数の数 N およびハッシュテーブルのサイズ M を変化させた際の処理時間を評価した。結果を図 6 に示す。本評価例では、10 秒間のデータの処理であるため、オンライン処理時間は 10 秒未満とする必要があり、白抜きの (N, M) の組み合わせが望ましいパラメータといえる。

最後に、スケッチ法による異常トラフィック検知精度を評価した。異常検知アルゴリズム

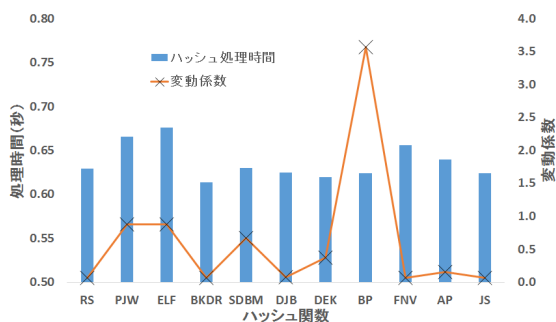


図 5 ハッシュ関数の処理時間と一様性

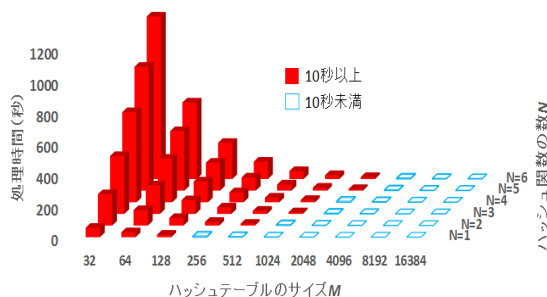


図 6 スケッチ法の処理時間

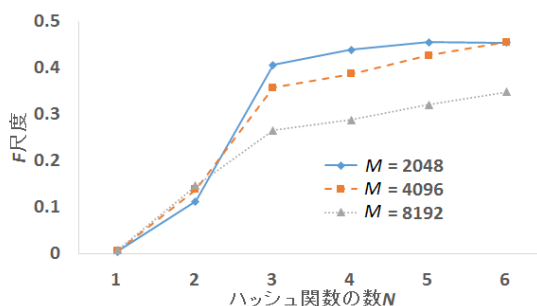


図 7 F 尺度

には、時系列データに対して簡単な計算で適切な閾値を自動で設定するボリンジャー・バンド (3 以上の乖離を異常と判定) を用いた。また、評価尺度は、誤検知率 FPR (False Positive Rate)、未検知率 FNR (False Negative Rate) および F 尺度を用いた。図 7 に総合的な尺度である F 尺度の結果を示す。同図より、ハッシュ関数の数 N は 3 以上にすることが望ましく、ハッシュテーブルのサイズ M は小さいほど精度が高いが、前述のとおり処理時間に制約があるため、それらのトレードオフを考慮して (N, M) のパラメータを決める必要があることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Masamichi Yoshioka, Takefumi Hiraguri, Hideaki Yoshino, Performance Evaluation of Sketch Schemes on Traffic Anomaly Detection Accuracy, IEICE Communications Express, 査読有, Vol.6, Advance Publication, 2017, DOI:10.1587/comex.2017XBL0032

Yoshiaki Morino, Takefumi Hiraguri, Hideaki Yoshino, Kentaro Nishimori, Takahiro Matsuda, A Novel Collision Avoidance Scheme Using Optimized Contention Window in Dense Wireless LAN Environments, IEICE Trans. on Commun., 査読有, Vol.E99-B, No.11, 2017, pp. 2426-2434, DOI: 10.1587/transcom.2016EBP3056

〔学会発表〕(計 23 件)

吉野秀明、通信トラフィック工学におけるモデル化と解析事例、電子情報通信学会

通信方式研究会 (招待講演) 2017 年 4 月 21 日、千歳科学技術大学 (北海道・千歳市) CS2017-11、pp.55-60

吉岡将道、平栗健史、吉野秀明、スケッチ法が異常トラフィック検知精度に与える影響の評価、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会、2017 年 3 月 6 日、九州大学 (福岡県・福岡市) CQ2016-127、pp.49-54

森野善明、平栗健史、吉野秀明、西森健太郎、マルチビーム Massive MIMO 伝送におけるダウンリンクオーバーヘッドレスアクセス制御方式の特性評価、電子情報通信学会スマート無線研究会、2017 年 1 月 19 日、ひめぎんホール (愛媛県・松山市) SR2016-82、pp. 23-26

吉岡将道、平栗健史、吉野秀明、スケッチ法による異常トラフィック検知の性能評価に関する一検討、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会、2016 年 11 月 24 日、下関商工会議所 (山口県・下関市) CQ2016-73、pp. 1-6

吉岡将道、平栗健史、吉野秀明、異常トラフィック検知におけるスケッチ法の処理性能に関する一検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2016 年 9 月 22 日、北海道大学 (北海道・札幌市) B-11-16

吉野秀明、通信トラフィック工学の基礎、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ基礎セミナー (招待講演) 2016 年 7 月 27 日、関西学院大学 (大阪府・大阪市) 2016 年度第 2 回

浅野大樹、高橋志学、平栗健史、吉野秀明、災害時の予約型電話輻輳制御方式の改善と評価、電子情報通信学会総合大会、2016 年 3 月 16 日、九州大学 (福岡県・福岡市) B-11-25

吉岡将道、平栗健史、吉野秀明、異常トラフィック検知におけるサンプリング法・スケッチ法の一検討、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会、2016 年 3 月 7 日、名城大学 (沖縄県・名護市) CQ2015-128、pp.119-122

吉岡将道、平栗健史、吉野秀明、異常トラフィック測定・分析による DDoS 攻撃検知手法の一検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015 年 9 月 9 日、東北大学 (宮城県・仙台市) B-11-14

吉野秀明、通信ネットワークの混雑のトラフィック制御、電気学会東京支部埼玉支所講演会 (招待講演) 2014 年 11 月 7 日、日本工業大学 (埼玉県・宮代町)

Kenya Jin'no, Takuya Shindo, Takuya Kurihara, Takefumi Hiraguri, Hideaki Yoshino, Canonical Deterministic Particle Swarm Optimization to Sustain Global Search, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), 7 Oct.2014, San Diego(USA)

戸花洋貴、平栗健史、吉野秀明、災害型輻輳に対する電話予約制御方式の評価、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2014 年 9 月 24 日、徳島大学 (徳島県・徳島市) B-11-16

戸花洋貴、平栗健史、吉野秀明、災害型輻輳に対する電話予約制御方式と評価、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会、2014 年 7 月 11 日、大阪大学 (大阪府・大阪市) CQ2014-38、pp.129-133

吉野秀明、塩本公平、国際会議 IEEE GLOBECOM 2013 参加報告、電子情報通信学会通信方式研究会 (特別講演) 2014 年 4 月 24 日、広島市立大学 (広島県・広島市) CS2014-5、pp.21-26

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉野 秀明 (YOSHINO, Hideaki)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：00644816

(2) 研究分担者

神野 健哉 (JINNO, Kenya)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：50286762

平栗 健史 (HIRAGURI, Takefumi)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：90582817