

S3fax システムに関する一考察

清水 亮博 下村 道夫 高橋 健司

NTT 情報流通プラットフォーム研究所

概要 インターネット上のファクシミリシステムである S3fax において、端末と G3 ファックスとのゲートウェイの構成と機能を述べ、端末については実装し基本動作を確認した。さらに、S3fax システムのスケラビリティは G3 ファックスとのゲートウェイが要である事を示し、輻輳する確率について待ち行列理論を利用して考察した。また、セキュリティについては強い認証手段が必要であることと、受信時にアクセス制御が必要である事を示した。

A study of S3fax system

Akihiro SHIMIZU Michio SHIMOMURA Kenji TAKAHASHI

NTT Information Sharing Platform Laboratories

Abstract This article introduce S3fax – the facsimile system on the Internet –, and explain architecture and functionality of S3fax terminal and the gateway to G3 facsimile, and shows that the gateway to G3 facsimile is the scalability key, and consider the congestion probability of the gateway with queueing theory. In addition, this article shows that the security of S3fax needs strong authentication method and access control on receive phase.

はじめに

インターネットの普及に伴い、旧来の電話サービスの代わりにインターネットを用いた VoIP サービスが提供されている。この VoIP サービスの大半は音声通話のみを想定しており、音声通話サービスと並んで主要な通信サービスの一つである G3 ファクシミリ通信に対応していないという問題がある。

また、G3 通信を想定している VoIP サービスでも、ファクシミリ画像符号化データ（以下、画像データ）を一旦 G3 手順にて音声に変換しているため、通信速度がこれまでの G3 ファックスと変わらない。VoIP サービスでは一般に音声に必要な帯域より大幅に広いインターネット回線を使っているため、画像データを音声に変換せずにインターネット経由で直接通信すれば、通信時間を大幅に短縮できる。

以上より、筆者らは画像データのままインターネット上でファクシミリ通信を行う方式が新たに必要であると考え、S3fax^{*1} システムの基本コンセプトを提案 [1] した。本稿では S3fax システムの端末と S3fax と電話網における G3 とのゲートウェイ (G3 ゲートウェイ) の構成、機能の詳細について述べ、スケラビリティおよびセキュリティについて考察する。

1 要求条件

S3fax がサービスとして成立するために望ましい条件を考察したところ、以下のような要求条件を得た。

条件 1. 電話番号のみで送り先を指定できる事 VoIP が既存の音声通話の置き換えであるように、S3fax も既存の G3 の置き換えであるから、電話番号のみで送り先を指定できるようにする。これは情報弱者のためにも重要である。

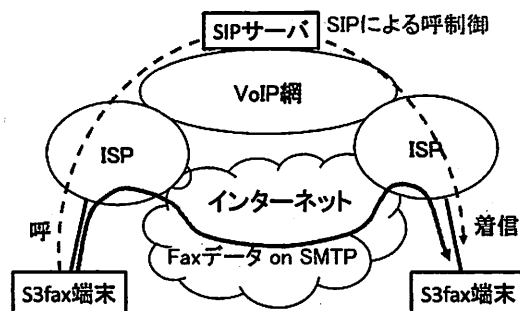


図1 システム概略

条件 2. 画像データをインターネット経由で送信する事 回線品質が一定ではないが比較的安価で高速なインターネット上で画像データを送信する。

条件 3. 既存の G3 サービスと互換性がある事 VoIP が他の電話サービスと通話可能である事と同様に、S3fax も G3 との互換性が必要である。

条件 4. スケラブルである事 広く普及している G3 ファックスと通信するので、スケラビリティが必要である。また S3fax の端末が増加すれば、その間でもスケラビリティが必要である。

条件 5. なりすまし、spam を防止可能である事 セキュリティ上の脅威であるなりすまし、および spam を防止しなければならない。

条件 6. セキュリティを強化可能である事 ファクシミリは商取引等重要な通信にも用いられるため、通信の盗聴・改ざん防止等が必要とされる場合がある。

2 S3fax の概要

上記の要求条件を考慮し、S3fax システムを考案した。図1に S3fax システムの概略を示す。呼制御は VoIP で実績のある SIP [2] を使い、電話番号でアドレス解決を行う。VoIP トラフィックとの区別は、SDP [3]

^{*1} Simple Stored Internet Fax with SIP

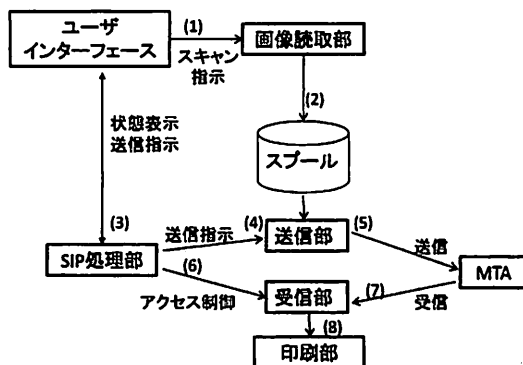


図2 S3fax 端末の構成

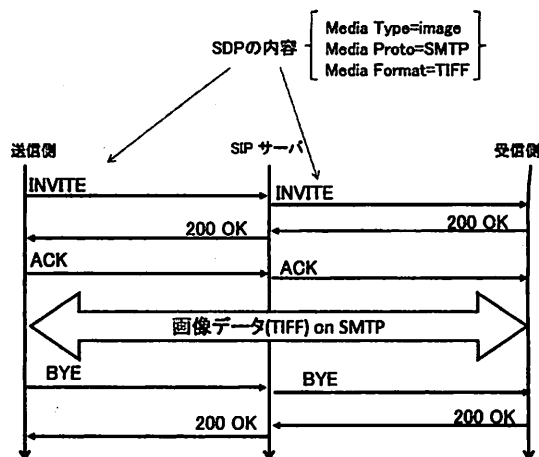


図3 通信フロー

によって表現する。SIPで呼が確立した後、SMTP [4]でファックスデータを送信する。なお図1のVoIP網とは物理的な網とは限らず、インターネット上でQoSを保証された仮想回線等の場合もある。

SMTPを用いる理由は、Internet上で画像データを電子メールとして扱うためである。SIPアドレスを電子メールアドレスと読み替えると、ファックス通信は電子メール通信とほぼ同じである。またInternet Fax [5, 6]という規格にて画像データと電子メール間での変換手法が定められているので、これを利用すれば標準化された方法で画像データを扱うことができる。他のプロトコルを用いる方法も検討したが、G3プロトコルをそのままTCP/UDP上に乗せたT.38は回線品質が一定でないインターネットへの適用は不適切であり、TCP上のプロトコルを新たに作っても結果的にSMTP相当になってしまうため採用しなかった[1]。なお本システムではSMTPを用いるが、portはSMTPに割り当てられている25番を使わない。これは電子メールサービスとの混乱を避けるためである。

2.1 S3fax 端末

図2にS3fax端末の構成を示す。S3fax端末は画像データを読み取る画像読取部、読み込んだ画像データを一時保存するスプール、SIPサーバと通信を行いSIPに関する処理を行うSIP処理部、スプールに保存された画像データをメールに変換する送信部、受信したメールを画像データに変換する受信部、画像データを印刷する印刷部、メールの送受信を行うMTA²、ユーザとのやり取りを行うユーザインターフェースからなる。

ファックスを送る際は、ユーザがユーザインターフェースに指示して原稿を画像読取部より読み取らせる(1)。読み取った画像データはスプールに一時保存される(2)。送信する原稿がすべて読み終わった後、ユーザインターフェースからSIP処理部へ送信依頼が送られる(3)。送信依頼を受け取ったSIP処理部はSIPサーバと通信を行い、呼を確立する。呼が確立した後、SIP処理部は送信部に対して送信を指示する(4)。送信部はInternetFaxの規格に基づいてスプールに溜まっている

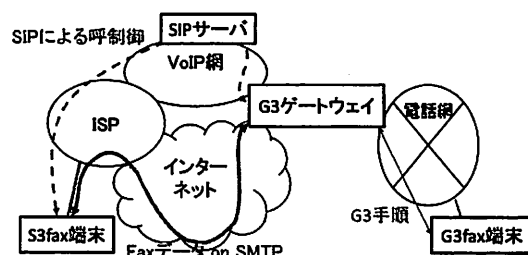


図4 G3 とのゲートウェイ

画像データを電子メールに変換し、MTAに送る(5)。

ファックスの受信は、まず最初にSIP処理部が呼の着信を受ける。呼が確立したら受信部へアクセス制御情報を送り、確立した呼に対応するメールを受信するようにする(6)。受信部はアクセス制御情報に基づきメールを受信するか否かを判断する(7)。受信したらInternetFaxの規格に基づいて画像データを取り出し、印刷部にて印刷する(8)。

S3fax端末同士の通信フローは図3の通りとなる。基本的にはVoIPと変わらないが、SDPが音声ストリームではなく画像データを表現しており、送信プロトコルがSMTPである所が異なる。

2.2 G3 ゲートウェイ

G3との互換性を確保するために、G3とS3faxの変換を行うG3ゲートウェイを設ける(図4)。

G3ゲートウェイの構成を図5に示す。G3ゲートウェイはメールを送受信するMTA、SIP通信を行うSIP処理部、G3ファックスと直接送受信するファックスモデム、およびG3からS3への変換処理を行うG3→S3制御部とS3からG3への変換処理を行うS3→G3制御部からなる。

G3ファックスからS3faxへの通信を図6にて示す。G3ファックスからの通信は、交換機を通してファックスモデムに着信する(1)。この時のシグナリング情報から送信先を決定し、送信されるメールのヘッダ情報が決まる(2)。メール本文はファックスモデムが受信した内容となる(3)。ファックスモデムの受信が終了し、

² Mail Transfer Agent: メールを中継するプログラム。有名な実装としては sendmail, qmail, postfix などがある。

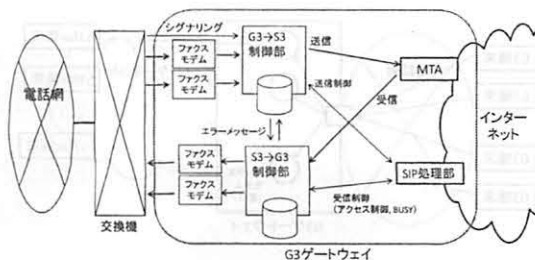


図5 G3 ゲートウェイ概略

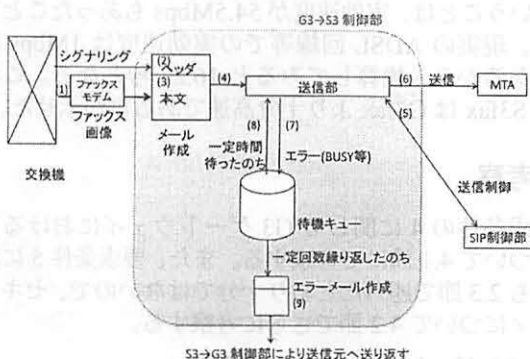


図6 G3 ゲートウェイ:G3 → S3 制御部

メールが作成されると送信部へと送られ(4)、ヘッダ情報を SIP 制御部に送って呼制御を行い(5)、呼が確立したら MTA へメールを送って送信完了となる(6)。この時 BUSY などのエラーが生じた場合は、メールを待機キューに保存する(7)。待機キューにあるメールは一定時間待ったのちに再度出力キューへ送られる(8)が、また待機キューへ戻ってくるとを一定回数繰り返した後はエラーとみなされ、送信元へ送り返すエラーメールが作成され(9)、S3 → G3 制御部を利用して送信元へ送られる。なお大量の呼が集中した場合には、ファックスモデムの回線が足りなくなるため交換機によって BUSY が返される。

S3fax から G3 ファックスへの通信を図7にて示す。S3fax からの着信は、まず SIP 制御部が呼を受ける。呼が成立したのち、SIP 制御部は受信部に対し、成立した呼に対するメールの受け入れ許可を送る(1)。受信部は受信許可があることを確認してから、受け取ったメールを出力キューに送る(2)。出力キューから取り出されたメール(3)は、ヘッダ部から通信先の電話番号を決定され、ファックスモデムによって送信先に本文をファックスデータとして送られる(4)。この時に BUSY 等のエラーが起きた場合は、待機キューに送られ(5)、G3 → S3 制御部と同様の処理がされる。なお SIP 制御部が呼を受けた際に、出力キューが一杯であった場合、SIP 制御部は呼を確立させずに BUSY を返す(6)。

2.3 S3fax システムの妥当性

本節では第1節で示した要求条件を S3fax が満たしていることを示す。

SIP によって電話番号からアドレス解決をしているので、条件1を満たしている。また SMTP で画像デー

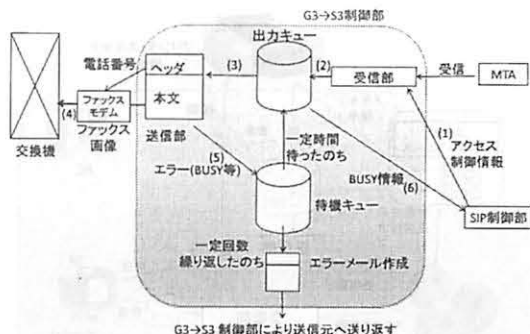


図7 G3 ゲートウェイ:S3 → G3 制御部

タを送信しているので、インターネットでの送信が可能であるため条件2を満たしている。G3 ゲートウェイを設けることで条件3を満たしている。条件6は、SMTP で用いられるセキュリティ手段^{*3}を用いることで条件を満たすことが可能である。このオプションを含んだ S3fax システムを S4fax^{*4}と名付ける。

条件4を満たすためには、負荷が集中する SIP サーバと G3 ゲートウェイがスケーラブルであれば良い。SIP サーバはすでに VoIP サービスで用いられているので、スケーラブルであると推定できる。輻輳を許容するならば、G3 ゲートウェイは大量の呼が集中しても BUSY を返すのでスケーラビリティは損なわれない。輻輳については4.1節で考察する。

条件5については SIP の端末認証である程度実現されているが、十分ではないので4.2節で考察する。

3 実装

S3fax システムの基本動作を確認するために、S3fax 端末を実装した。

本来はエンドユーザからみた見た目や使い勝手を考慮し G3 ファックス端末と同様な形態にすべきであり、またコストを上げないために同程度のハードウェア規模にすべきではある。しかし今回の実装は基本動作の確認が主眼であるため実装の効率を最優先する事にした。そのためにハードウェアは制御部に PC を、スキャナとプリンタはいわゆるプリンタ・スキャナ複合機を用いた。

OS はデバイスドライバの入手容易性等から Debian Linux(sarge)を用いた。プログラムの各部については図8より：

- ユーザインターフェースは Qt/X^{*5} の GNU ライセンス版を用い、C++ にて記述した。
- SIP 処理部は GNU ライセンスにて公開されている oSIP^{*6}、eXosip^{*7}を SIP stack として用い、C にて記述した。

^{*3} pgp, S/MIME など

^{*4} Secure S3fax

^{*5} <http://trolltech.com/>

^{*6} <http://www.gnu.org/software/osip/>

^{*7} <http://savannah.nongnu.org/projects/exosip/>

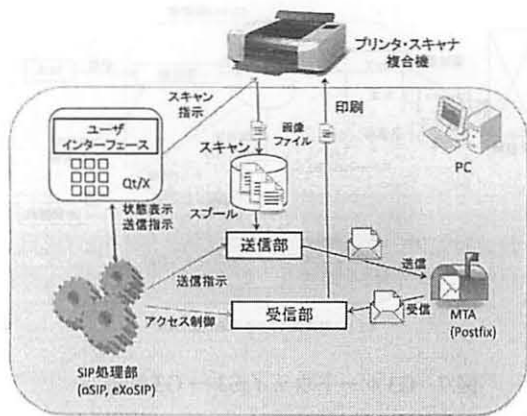


図 8 S3 端末実装の構成

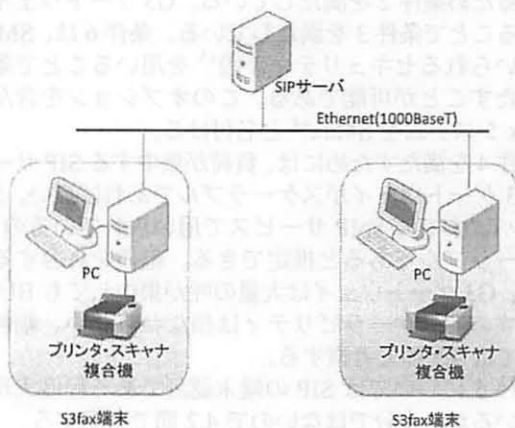


図 9 実験環境

- MTA には postfix を用いた。実験上電子メールと混乱する恐れはないため、port は 25 番のまま利用している。
- 送信部、受信部はシェルスクリプトにて記述した。なお本稿執筆時において受信部のアクセス制御は未実装である。

実験環境は図 9 の通りである。SIP サーバとしては SIP Express Router(SER)^{*8}を用いた。

この環境で、G3 通信と比較するために実行速度を測った。通信用の原稿としては新聞を A4 サイズにコピーしたもの^{*9}を用いて、これを 10 枚通信する際にかかる時間を測った。G3 通信においては、G3 端末 2 台を疑似交換機につなぎ、疑似交換機の音声モニタ機能を利用して G3 手順による音声の流れを測った。S3 通信においては、パケットダンプによって SMTP の最初のパケットと最後のパケットの時刻の差を測った。結果は G3 通信では 301 秒、S3 通信では 0.298459 秒となった。

S3 通信において送信されたメールのサイズは 2082KByte あった。これが 0.298 秒余りで送信され

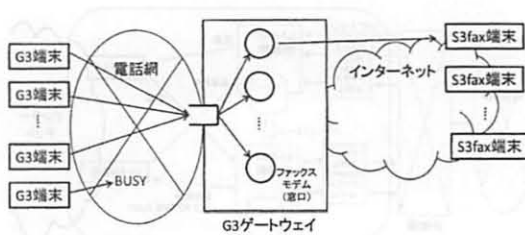


図 10 G3 → S3 のモデル

たということは、実効速度が 54.5Mbps もあったことになる。現実の ADSL 回線等での実効速度は 1Mbps 程度であるから、換算してみると 16.27 秒となる。これより S3fax は G3fax より十分高速である事が示せた。

4 考察

要求条件の 4 に関して G3 ゲートウェイにおける輻輳について 4.1 節にて考察する。また、要求条件 5 においても 2.3 節で述べたとおり十分ではないので、セキュリティについて 4.2 節でさらに考察する。

4.1 G3 ゲートウェイにおける輻輳

S3 システムにおいて輻輳がおこる場合は、SIP サーバの容量を超えた呼が発生した場合か、G3 ゲートウェイに負荷が集中した場合である。SIP サーバの容量については VoIP においてすでに実運用がされており、十分な容量を確保する事が可能であるとしてよい。よって本稿では G3 ゲートウェイに呼が集中した場合について、G3 から S3 へ呼が集中した場合と、S3 から G3 へ呼が集中した場合について論ずる。

4.1.1 G3 から S3 へ呼が集中した場合

図 10 は G3 から S3 へのモデルである。ファクスモデムの個数、すなわち受付窓口の個数を S 、呼の到着確率を $\lambda(1/sec)$ 、モデムの平均処理効率を $\mu(1/sec)$ とし、 λ, μ 共に指数分布に従うと仮定すると、これは $M/M/S(S)$ の待ち行列問題となる。ここでトラフィック密度 $\rho = \frac{\lambda}{S\mu}(erl)$ 、総トラフィック $a = S\rho(erl)$ とすると、ある呼の棄損確率、すなわち BUSY となる確率 p_s は次の式で与えられる。[7]

$$p_s = \frac{S^S \rho^S}{S!} p_0 = \frac{a^S}{S!} p_0$$

ただし

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^S \frac{S^n \rho^n}{n!} \right)^{-1} = \left(\sum_{n=0}^S \frac{a^n}{n!} \right)^{-1}$$

実際のトラフィックより a を求め、上式に当てはめて数値計算によって解くことにより、BUSY となる確率をある一定以下に抑えるモデムの個数 S を得る事が可能である。

実際に $a = 1, 10, 100(erl)$ の場合について計算した例を表 1 に示す。

以上より、G3 から S3 へ呼が集中した場合、輻輳が起こる確率をあらかじめ予測された呼量に対してモデ

^{*8} <http://www.iptel.org/ser/>

^{*9} 読売新聞 2008 年 7 月 8 日火曜日朝刊の 1 面右上

$a(erl)$	$p_S < 1\%$	$p_S < 0.01\%$
1	$S = 5$ $p_S = 0.31\%$	$S = 7$ $p_S = 0.0073\%$
10	$S = 18$ $p_S = 0.71\%$	$S = 24$ $p_S = 0.0073\%$
100	$S = 117$ $p_S = 0.97\%$	$S = 137$ $p_S = 0.0074\%$

表1 M/M/S(S)における棄損確率 p_S と窓口の数 S の関係

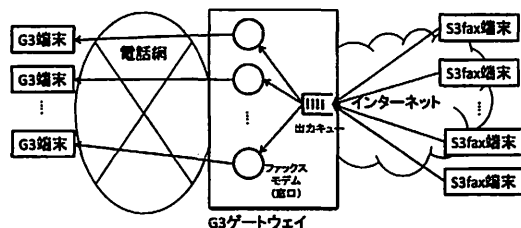


図11 S3 → G3 のモデル

ムの個数により一定以下に抑える事が可能であることを示した。

4.1.2 S3 から G3 へ呼が集中した場合

図11はS3からG3へのモデルである。S3faxはインターネットから待ち行列に取り込まれるため、同時に取り込まれる数に制限はないとする。待ち行列はいくらでも長くすることが可能だが、長時間滞留してしまつてはファックスサービスとして問題がある。よつて待ち行列での平均滞留時間 W_q を定めた上で、待ち行列の長さ N は十分長く取れるのでまず M/M/S の待ち行列問題としてモデムの数 S を求め、その S を用いて M/M/S(N) の待ち行列問題として棄却確率が十分小さくなる待ち行列の長さ N を求める。

M/M/S において平均待ち時間 $W_q(sec)$ は次式となる。[7]

$$W_q = \frac{S^{S-1} \rho^S}{\mu S! (1-\rho)^2} p_0$$

$$= \frac{\alpha^S}{\mu S S! (1 - \alpha/S)^2} p_0$$

ただし

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{S-1} \frac{S^n \rho^n}{n!} + \frac{S^S \rho^S}{S! (1-\rho)} \right)^{-1}$$

$$= \left(\sum_{n=0}^{S-1} \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^S}{S! (1 - \frac{\alpha}{S})} \right)^{-1}$$

これを数値計算によって解き、 S の値を求める。

次に、呼の棄損確率、すなわち BUSY となる確率が一定以下にする事で N を求める。この待ち行列問題は

$a(erl)$	$W_q < 10sec$	$W_q < 1sec$
1	$S = 4$ $W_q = 2.0sec$	$S = 5$ $W_q = 0.29sec$
10	$S = 15$ $W_q = 6.1sec$	$S = 18$ $W_q = 0.60sec$
100	$S = 109$ $W_q = 9.3sec$	$S = 118$ $W_q = 0.86sec$

表2 M/M/S における平均待ち時間 W_q と窓口の数 S の関係

$a(erl)$	S	$p_N < 1\%$	$p_N < 0.01\%$
1	5	$N = 5$ $p_N = 0.30\%$	$N = 8$ $p_N = 0.0025\%$
10	18	$N = 18$ $p_N = 0.71\%$	$N = 26$ $p_N = 0.0064\%$
100	118	$N = 118$ $p_S = 0.82\%$	$N = 145$ $p_N = 0.0090\%$

表3 M/M/S(N) における棄損確率 p_N と待ち行列の長さ N の関係

前節と同様に λ, μ がともに指数分布に従うと仮定すると、本問題は M/M/S(N) 待ち行列問題となる。これより棄却確率は次式で与えられる。[7]

$$p_N = \frac{S^S \rho^N}{S!} p_0 = \frac{S^{S-N} \alpha^N}{S!} p_0$$

ただし

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{S-1} \frac{S^n \rho^n}{n!} + \frac{S^S \rho^S}{S!} \cdot \frac{1 - \rho^{N-S+1}}{1 - \rho} \right)^{-1}$$

$$= \left(\sum_{n=0}^{S-1} \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^S}{S!} \cdot \frac{1 - (\frac{\alpha}{S})^{N-S+1}}{1 - \frac{\alpha}{S}} \right)^{-1}$$

これに先程求めた S を用いて数値計算により長さ N を求める。

$a = 1, 10, 100(erl)$ とした場合について計算した例を表2, 3に示す。なお第3節の実験結果を参考にして、 $\mu = 1/300(1/sec)$ としている。

以上より、G3ゲートウェイにおいて S3 → G3 の場合、輻輳が起こる確率をあらかじめ予測された呼量に対して一定以下に抑える事が可能であることを示した。

4.2 セキュリティ

本 S3fax システムで扱うセキュリティ上の脅威は以下の通りである。

- なりすまし
- spam

なお盗聴や改ざんについては 2.3 節で述べた S4fax, すなわち電子メール用のセキュリティ手段を使えば防止可能であり、本節では対象としない。

4.2.1 端末認証の高度化

なりすましを防ぐためには、SIP サーバにおける SIP 端末の正しい認証が必要である。また spam を防ぐためにもなりすましを防ぐ事が望ましい。

端末認証については、現状の実装では SIP 標準の HTTP Digest Authentication を用いているが、これは盗聴された場合に辞書攻撃などで破られることが知られている。これの対策は文献 [8] によれば SIP 通信を TLS で保護すれば良いとなっている。確かに TLS による保護を行えば安全にはなるが、SIP サーバに負荷が集中するためスケーラビリティの点で問題になりうる。これについてはさらなる検討が必要であろう。

4.2.2 受信時のアクセス制御

送信元と受信先を正しく認証できれば、spam は SIP サーバにて検知できる可能性があり、SIP サーバにて規制をかけたり、サービス契約の打ち切りなどで対処が可能である。ただし、この前提条件には SMTP による画像データ通信に先立って必ず SIP にて呼を確立してあることが必要というものがある。もし SIP にて呼を確立しなくても画像データが送れるのなら、容易に推測可能である端末のメールアドレスに対して直接メールを送ればいくらでも画像データを送ることが可能となってしまうためである。

よって SMTP による画像データ通信には、SIP で呼が確立した場合のみに通信可能となるアクセス制御が必要である。

なお SIP セッションが確立した後にユーザが送信を止めたり、何らかの要因により画像データの送信が行われないことがありうる。このような場合に対応するために、受信側でアクセス許可情報に時刻情報を含めて保存しておき、ある一定以上古くなったアクセス許可情報を捨てる必要がある。

5 今後の課題

今後の課題としては、以下のような物がある。

5.1 G3 ゲートウェイの実装と評価

4.1 節で G3 ゲートウェイの輻輳について論じたが、これはあくまで机上検討であり、有効性の評価をする必要がある。このため G3 ゲートウェイを実装し、実際に負荷をかけて測定を行い、机上検討と比較する事で評価する必要がある。

5.2 能力交換の検討

能力交換とは、ファクシミリ端末間でお互いの端末の能力、すなわち解像度やグレースケールやカラーが扱えるかなどの情報を交換し、最適な方法で通信を行うというものである。

現状の S3fax では Simple mode InternetFax [5] の範囲で実装しているため能力交換は不要だが、高精細化やカラー化などを実装するためには必要となる。これを SIP セッションで表現可能かどうか検討し、具体的な形態を明らかにする必要がある。

おわりに

本稿では VoIP サービスと共に使う新たなファクシミリの必要性和その要求条件を示し、SIP と InternetFax を使って考案した S3fax システムが前述の要求条件を満たすことを示した。

そして、S3fax システムの端末と従来の G3 ファックスとのゲートウェイである G3 ゲートウェイの構成と機能を述べ、S3fax 端末については実装し基本動作を確認した。

さらに、S3fax システムのスケーラビリティは G3 ゲートウェイが要である事を示し、G3 ゲートウェイが輻輳する確率について待ち行列理論を利用して考察した。

また、セキュリティについては強い認証手段が必要である事と、画像データ受信時にアクセス制御が必要である事を示した。

今後は G3 ゲートウェイの実装と評価や、能力交換について検討する予定である。

参考文献

- [1] 清水亮博, 高橋健司: SIP と InternetFax を用いたファクシミリシステム, 第 70 回全国大会 (平成 20 年) 講演番号 4D-5, 情報処理学会 (2008).
- [2] Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M. and Schooler, E.: SIP: Session Initiation Protocol, RFC 3261, IETF (2002).
- [3] Handley, M., Caceres, V. and Perkins, C.: SDP: Session Description Protocol, RFC 4566, IETF (2006).
- [4] J. Klensin, : Simple Mail Transfer Protocol, RFC 2821, IETF (2001).
- [5] Toyoda, K., Ohno, H., Murai, J. and Wing, D.: A Simple Mode of Facsimile Using Internet Mail, RFC 3965, IETF (2004).
- [6] 木本雅彦, 山内崇圭, 持田啓, 大野浩之: RFC2305 に準拠したシンプルモードインターネット FAX の設計と実装, マルチメディアと分散処理研究会, 情報処理学会 (1999).
- [7] 吉岡良雄: 待ち行列と確率分布 - 情報システム解析への応用, 森北出版 (2004).
- [8] Rosenberg, J. and Jennings, C.: The Session Initiation Protocol (SIP) and Spam, RFC 5039, IETF (2008).