

多数のユーザによるクロストラヒックを考慮した 回線エミュレーションにおける適応クロック法の検証

2007MI039 服部貴文

指導教員 奥村 康行

1 はじめに

回線エミュレーションは、ユーザ側の電気通信端末に対し擬似的に電気通信事業者の網に接続されているように見せかける機能である。また、端末へのクロックの配信と同期が課題であり、解決する手段として適応クロック法がある。本研究では受信側のクロック回路に到着するパケットの時間間隔が複数の TCP, UDP のクロストラヒックにより、パケットの到着時間間隔が変動すると期待する。そして、適応クロック法を用い最適なクロック回路の設計を行う。

2 適応クロック法

適応クロック法は非同期ネットワークを介し受信端末に同期させる技術である。本研究では、適応クロック法として PID 制御とバッファ残量擬似平均方式を挙げる。

2.1 PID 制御 [4]

$$f(t) - f(0) = C_p(b(t) - b_0) + C_i \int (b(t') - b_0) dt' + C_d \left(\frac{db(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

C_p : 比例係数 C_d : 微分係数 C_i : 積分係数

$f(t)$: t の時間の周波数 $f(0)$: 初期の周波数
 $b(t)$: t の時間のバッファ占有度

式 (1) は PID 制御の基本公式である。P 制御は現在の偏差に比例した修正量を出す比例制御、I 制御は過去の偏差の累積値に比例した修正量を出す積分制御、D 制御は偏差が増加か減少か、その傾向の大きさに比例した修正量を出す微分制御である。この3つを加算したものであり、バッファ残量に応じ目的の周波数に近似するよう制御する。

2.2 バッファ残量擬似平均方式 [5]

バッファ残量擬似平均方式の基本公式を式 (2), (3) で示す。式 (2) で過去 N 回分のバッファ残量の擬似的な平均値を求め、式 (3) でその平均値に重み係数をかけた値を制御値としている。

$$H_{S_n} = ((N - 1) \times H_{S_{n-1}} + H_n) / N \quad (2)$$

$$U_n = A \times H_{S_n} \quad (3)$$

U_n : 制御値 H_n : 観測値 H_{S_n} : 平均値

A : 感度 N : 平均母数

2.3 ネットワークシミュレーション

ネットワークシミュレーションを行う際のネットワークポロジを図 1 に示す。

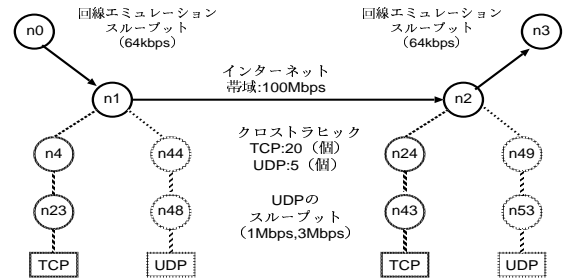


図 1 ネットワークポロジ (TCP:20 個, UDP:5 個)

図 1 において、シミュレーション時間を 120 秒とし、その間 TCP のクロストラヒックを、開始後 10 秒-60 秒まで 10 秒毎に UDP のクロストラヒックを 1 つ生じさせた。UDP のスループットを 1Mbps, 3Mbps と変化させた時をモデル a, b とし、以下モデル a の検証を行う。

3 数値シミュレーション

数値シミュレーションにおける収束時間は、受信側のクロック回路に到着するパケットの時間間隔が一定でないため、目標周波数との誤差が ± 200 ppm (12.8Hz) 以内で 5 秒間収まったとき収束とする。また、ジッタの定義は収束の定義により収束時のジッタ値を測定する。本研究では式 (4) でジッタを定義する。

$$jitter = \frac{f_{max} - f_{min}}{f} \times 10^6 \quad (4)$$

3.1 PID 制御

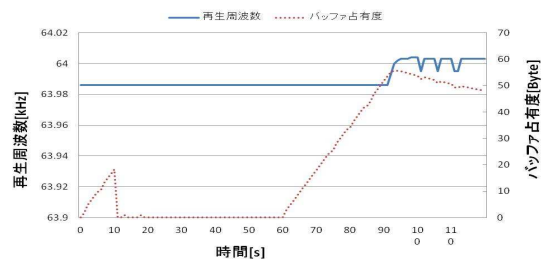


図 2 数値シミュレーション結果比例係数 8000, 積分係数 110

文献 [3] にならい、初期周波数を 63,986.423518 [Hz] と設定することで目標周波数に微小の影響を与えた。目

標周波数を $f=64000[\text{Hz}]$, 目標バッファ占有度 $30[\text{Byte}]$, 微分係数を 0, バッファ使用量のサンプリングサイクルを $1[\text{ms}]$ とし, 数値シミュレーション結果を図 2 に示した. 図 2 より, バッファ占有度は 10 秒から 60 秒で $0[\text{Byte}]$, 90 秒以降は目標バッファ占有度に近似するよう変化している. 再生周波数は 90 秒まで変化せず, それ以降目標再生周波数に近似するよう変化している. これは PID 制御はバッファ占有度の増減に応じ再生周波数の制御を行い, 目標の近似値よりバッファ占有度が大きい時, 再生周波数をバッファ占有度の増減に応じ上下させる. 次に, PID 制御における収束時間が 120 秒以内に収束する比例, 積分係数のモデルを表 1 に示す. 表 1 において数値シミュレーションの結果を図 3 に示す. 図 3 を見てみると, モデル 1 が最適であると判断できる.

表 1 PID 制御における数値シミュレーションモデル

モデル	C_p :比例係数	C_i :積分係数
モデル 1	11000	50
モデル 2	10000	70
モデル 3	9000	90
モデル 4	8000	110
モデル 5	7000	130

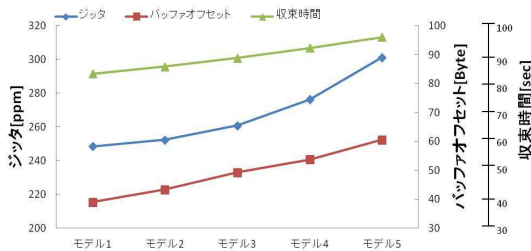


図 3 PID 制御結果 (ジッタ, バッファオフセット, 収束時間)

3.2 バッファ残量擬似平均方式

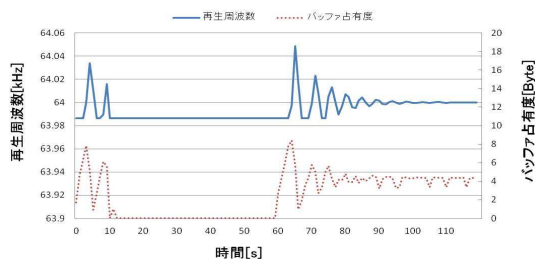


図 4 数値シミュレーション結果 (感度 $A=64$)

文献 [3] にならい, 初期周波数を $63,986.423518[\text{Hz}]$ と設定することで目標周波数に微小の影響を与えた. 目標周波数を $64000[\text{Hz}]$, 目標バッファ占有度を $4[\text{byte}]$, サ

ンプリングサイクルを $1[\text{ms}]$, 平均母数を 4096 と設定し, 数値シミュレーション結果を図 4 に示した. 図 4 より, PID 制御と同じような変化を示しているが, バッファ残量擬似平均方式では, 再生周波数の初期値に制御値 U_n を加え, 再生周波数とする制御を行っている. バッファ占有度の目標値よりバッファ占有度が大きい時, 制御値 U_n が正の値となり, 小さい時は負の値となる. 次にジッタ, 収束時間を考慮し数値シミュレーションを行う. 図 5 に感度 A を変化させた時の結果を示す.

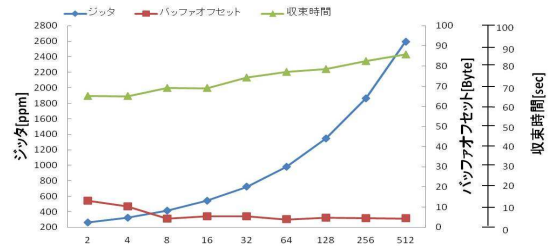


図 5 バッファ残量擬似平均方式結果

図 5 より, 感度 $A=2$ でジッタ, 収束時間が最小, 感度 $A=512$ でバッファオフセットは最小となる. よって, 感度 $A=2$ が最も適している.

4 まとめと今後の課題

本論文では, 多数のユーザが接続した際の実線エミュレーションにおける適応クロック法に PID 制御, バッファ残量擬似平均方式を用いた時の有効性を検証した. その結果ジッタの安定性を考慮すると PID 制御, バッファオフセットと収束時間を考慮するとバッファ残量擬似平均方式が実用的であると分かった. 今後の課題として, 回線エミュレーションに接続しているノードを増やし, スループットの値を変化させ検証を行う必要がある.

参考文献

- [1] 山田 佳美, 波多野 友香, “回線エミュレーションにおいてクロストラフィックを考慮した適応クロック法の比較と検証,” 2009 年度南山大学卒業論文, 2010.
- [2] 川越 崇史, 小川 佳介, 館 滋之 “クロストラフィックの変動を考慮した回線エミュレーションにおける適応クロック法の検証,” 2010 年度南山大学卒業論文, 2011.
- [3] 深田 陽一, 安田 武, 小松 秀司, 斎藤 幸一, 前田 洋一, “Adaptive Clock Recovery Method Utilizing Proportional-Integral-Derivative (PID) Control for Circuit Emulation,” 電子情報通信学会, 信学技報, CS2005-43(2005-11).
- [4] 村上 謙, 横谷 哲也, “TDM over Ethernet におけるクロック精度検証,” 電子情報通信学会, 信学技報, CS2006-1(2006-4).