

多様な客・サーバが存在する 情報通信ネットワークシステムのデザイン手法の検討

木村 龍明^{†1} 奥田 隆史^{†1}
井手口 哲夫^{†1} 田 学軍^{†1}

近年，ブロードバンド回線や情報通信端末の普及により，情報通信ネットワークシステムは，いつでも，誰でも利用することが当たり前になりつつある。

本稿では，この情報通信ネットワークシステムを，利用者の要求，サービス提供者の処理能力の多様性を考慮して，VCHS(Various Customers, Heterogeneous Servers) 型待ち行列システムとして表現する。利用者の要求量・サーバの処理速度に注目した量的 VCHS 問題，要求の難易度・サーバの処理スキルに注目した質的 VCHS 問題において，利用者同士の協調行動，システムへのリトライがある状況で，システムの性能改善を図るデザイン手法について検討する。

A Performance Evaluation of Information System with Customers Cooperation

TATSUAKI KIMURA,^{†1} TAKASHI OKUDA,^{†1}
TETSUO IDEGUCHI^{†1} and XUEJUN TIAN^{†1}

Recently, information system has been used by everyone because of the spreads of broad-bands and information devices. In the system, customers have various requests, and service providers provides various services.

In this paper, we model the system as a VCHS(Various Customers, Heterogeneous Server) queueing model by considering the various kinds of customers and service providers. Then, we propose the design method for the system by using the customer's cooperation and customer's retry to the system.

1. はじめに

近年，ブロードバンド回線や情報通信端末の普及により，情報通信ネットワークシステムは，いつでも，誰でも利用することが当たり前になりつつあり，日常生活やビジネスなどの様々な場面において，欠かせないものとなっている¹⁾。

このような状況下において，情報通信ネットワークシステムの概念は図1のように表される。

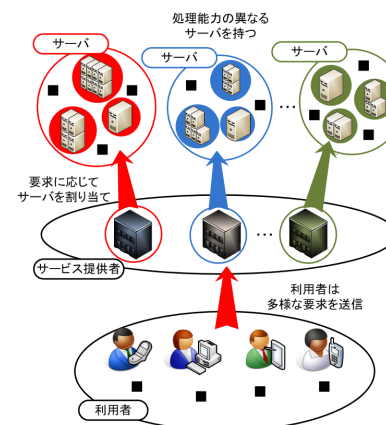


図1 情報通信ネットワークシステムの概念

図1の意味は，あるシステムのある利用者は多種多様な要求を持ち，各サービス提供者は，異なる処理能力を持つサーバを利用して，サービスを提供することである。例えば，データベースの検索，動画や音楽のダウンロードなどの利用者からの要求を，サービス提供者は，要求の種類によって区別せずに，まとめて受け取る。その後，これらの要求をサービス提供者が持つ処理能力が異なるサーバへ割り当てることで，利用者が求めるサービスを提供する，というようなシステムである。

本稿では，以上のような情報通信ネットワークシステムを VCHS 型待ち行列システムと

^{†1} 愛知県立大学大学院 情報科学研究科 情報システム専攻
Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

してとらえる。ここで、VCHS(Various Customers, Heterogeneous Servers) とは、多様な利用者、サーバが存在する状況を指し、このときに、システムに到着する利用者に対してどのようなサーバ割当戦略が有効であるか検討することを VCHS 問題という²⁾。

VCHS 型待ち行列システムを含む、待ち行列システムの性能を改善する方法論として、(a) 客の到着間隔を制御する、(b) サービス機構を変更する、(c) サービスや並び方の規則の変更、がある⁴⁾。今までの研究では、有効な手法として、主に (a) や (b) が扱われてきた。しかし、近年の ICT 技術の発展⁵⁾ により、(c) もいくつか実用可能となってきた。これらの方法論の具体例として、(a) 約束の時間を作ることによる各客の到着時刻の変更や現在の行列内の客数に応じた次の客を行列内に加えるかどうかの決定、(b) サービス窓口の増設や予想以上の客が到着した場合の臨時窓口の増設、(c) 重要な客に対する優先権の付与や客が特定の窓口だけに配分されやすくなるような窓口配置の変更などが挙げられる。また、上記のサーバ割当戦略はこの (c) に該当する。

本研究の目的は、この (c) として、サーバ割当戦略と共に、客同士の協調行動、システムへのリトライを利用して、VCHS 型待ち行列システムの性能を改善するデザイン手法を提案することである。そこで本稿では、これらの利用者の行動がある状況下において、VCHS 型待ち行列システムのデザイン手法を提案し、マルチエージェントアプローチにより、その効果について検証する。

以下、2 節では、VCHS 型待ち行列システムについて、3 節では、情報通信ネットワークシステムの性能評価モデルと利用者同士の協調行動、利用者のリトライについて、4 節で数値例を示し、5 節でまとめと今後の課題について示す。

2. VCHS 型待ち行列システム

VCHS 型待ち行列システムでは、システムに到着する利用者に対するサーバ割当戦略によって、システムの性能が変化する。これを調査することを VCHS 問題という²⁾。

VCHS 問題は、大別して、量的、質的、混合 VCHS 問題の 3 つが存在する³⁾。本稿では、利用者の持つ要求、サービス提供者の持つサービス提供能力の多様性を考慮して、システム利用者の要求の量・サーバの処理速度に注目した量的 VCHS 問題、要求の難易度・サーバの処理スキルに注目した質的 VCHS 問題を対象とする。

以下、2.1 節では、量的 VCHS 問題、2.2 節では、質的 VCHS 問題について示す。

2.1 量的 VCHS 問題

量的 VCHS 問題では、利用者の持つ要求に量があり、サーバが処理速度を持つような状

況下で、利用者に対するサーバ割当戦略によってシステム全体の処理能力がどう変わるのか調査することが目的である。ここで、利用者の要求量は、その値が大きいほどサーバにおける処理時間は長くなり、小さいほど短くなる。一方で、サーバの処理速度は、その値が大きいほど処理時間は短くなり、小さいほど長くなる。

以下より、量的 VCHS 問題におけるサーバ割当戦略によって生じる処理能力の違いについて説明する。具体例を図 2 に示す。

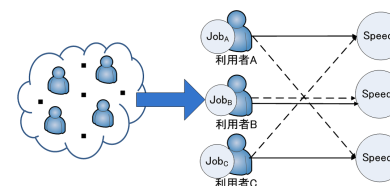


図 2 量的 VCHS 問題における具体例

図 2 では、量 Job_A, Job_B, Job_C の要求を持つ利用者に対して、処理速度 $Speed_A, Speed_B, Speed_C$ を持つサーバが処理をおこなうとする。利用者の要求量、サーバの処理速度の値は、ここでは $Job_A = 10, Job_B = 5, Job_C = 1, Speed_A = 0.5, Speed_B = 1, Speed_C = 2$ とする。

まず、 Job_A を持つ利用者を $Speed_A$ を持つサーバへ、 Job_B を持つ利用者を $Speed_B$ を持つサーバへ、 Job_C を持つ利用者を $Speed_C$ を持つサーバへ割り当てるとする。このときの要求の処理時間の合計は $Job_A/speed_A + Job_B/speed_B + Job_C/Speed_C = 51$ となる。

次に、 Job_B を持つ利用者の割り当ては変えずに、 Job_A を持つ利用者を $Speed_C$ を持つサーバへ、 Job_C を持つ利用者を $Speed_A$ を持つサーバへ割り当てるとする。このときの要求の処理時間の合計は、 $Job_A/speed_C + Job_B/speed_B + Job_C/Speed_A = 12$ となる。

以上の 2 つのサーバ割当戦略では、前者のサーバ割当戦略の方が利用者の処理が早く終わり、システム全体の処理能力が高いように思われる。しかし、後者のサーバ割当戦略では、 $Speed_C$ を持つサーバにおける処理が前者よりも早く終わるため、次の利用者に対する処理を早く始めることができる。このように、利用者の要求量やサーバの処理能力が異なる場合、サーバ割当戦略を変えるだけでシステムの処理能力に変化があることがわかる。

例として用いた上記の 2 つのサーバ割当戦略では、利用者の要求量、サーバの処理速度を考慮した割り当てがなされていない。このような問題点を解決するために、文献³⁾ では、

サーバの処理速度に注目した，以下の4つのサーバ割当戦略が提案されている。

戦略1： 最も処理が遅いサーバから，優先的に利用者を割り当てる

戦略2： 最も処理が速いサーバから，優先的に利用者を割り当てる

戦略3： 要求クラスに対応するクラスのサーバに割り当てる。そのサーバが稼働中の場合，最も近いクラスの空きサーバに割り当てる。

戦略4： ランダムにサーバへ利用者を割り当てる

本稿で検討する量的 VCHS 問題では，これらの戦略1～戦略4を用いる。

2.2 質的 VCHS 問題

質的 VCHS 問題では，システムに到着する利用者の持つ要求に難易度があり，一定のレベル以上の処理スキルを持つサーバでなければ要求を処理できないといった状況下で，到着する利用者の要求に対するサーバ割当戦略によって，システム全体の処理能力がどのように変化するかを調査することが目的である。要求の持つ難易度とサーバの持つ処理スキルの対応関係は(1)式で表される。

$$(\text{要求の難易度}) \leq (\text{サーバの処理スキル}) \quad (1)$$

量的 VCHS 問題では，(1)式に示されるように，利用者の要求の難易度が高いほど，高い処理スキルを持つサーバでしか処理することが出来ない。一方で，処理スキルが高いほど，処理できる要求の種類が増える。このため，システムへ到着した利用者に対するサーバ割当戦略次第では，利用者の要求に対して空きサーバでは処理が出来ない状況が発生する。これを処理待ちと呼び，システム全体の処理能力に違いを生む原因となる。

以下より，質的 VCHS 問題における，サーバ割当戦略によって生じる処理能力の違いについて説明する。具体例を図3に示す。

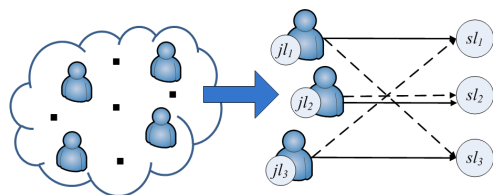


図3 質的 VCHS 問題の具体例

図3では，難易度 $j1 \sim j3$ の要求を持つ利用者を，処理スキル $s1 \sim s3$ を持つサーバが処理をおこなうとする。要求の難易度は， $j1$ が最も低く， $j3$ が最も高いものとし，サーバの処理スキルは， $s1$ が最も低く， $s3$ が最も高いものとする。

まず， $j1$ を持つ利用者を $s1$ を持つサーバに， $j2$ を持つ利用者を $s2$ を持つサーバに， $j3$ を持つ利用者を $s3$ を持つサーバに割り当てる。この場合，すべての利用者が，要求を処理出来るサーバへ割り当てられているため，処理を受けることが出来る。

次に， $j2$ を持つ利用者の割り当ては変えずに， $j1$ を持つ利用者を $s3$ を持つサーバに， $j3$ を持つ利用者を $s1$ を持つサーバに割り当てるとする。この場合， $j3$ を持つ利用者は，(1)式より， $s1$ を持つサーバで処理を受けることが出来ないため，処理待ちが起きてしまう。

以上の2つのサーバ割当戦略では，後者のサーバ割当戦略において，処理待ちの発生により，システム全体の処理能力が低下してしまっている。このように，利用者の要求難易度，サーバの処理スキルが異なる場合，サーバ割当戦略次第では，システム全体の処理能力が変化することがわかる。

例として用いた上記の2つのサーバ割当戦略では，利用者の要求の難易度，サーバの処理スキルを考慮した割り当てがなされていない。そこで，文献³⁾で提案されている，サーバの処理スキルに注目した4つのサーバ割当戦略を以下に示す。

戦略A： 要求を処理可能なサーバの内，最もスキルが低いサーバへ優先的に利用者を割り当てる

戦略B： 要求を処理可能なサーバの内，最もスキルが高いサーバへ優先的に利用者を割り当てる

戦略C： 要求の難易度に対応するスキルのサーバへ利用者を割り当てる。そのサーバが稼働中である場合は，最も近いスキルを持つ処理可能なサーバへ割り当てる

戦略D： 要求を処理可能なサーバへランダムに利用者を割り当てる

本稿で検討する質的 VCHS 問題では，これらの戦略A～戦略Dを用いるものとする。

3. 性能評価モデル

本稿では，情報通信ネットワークシステムを VCHS 型待ち行列システムで表現する。図4に本稿で想定する VCHS 型待ち行列システムを示す。

図4が示すように，本稿における VCHS 型待ち行列システムは，容量が無限大の単一のバッファと m 個の並列サーバで構成されるものとする。利用者は平均到着率 λ の任意の確率分布 D_1 に従ってシステムへ到着し，サーバ割当戦略によってサーバに割り当てられる。各

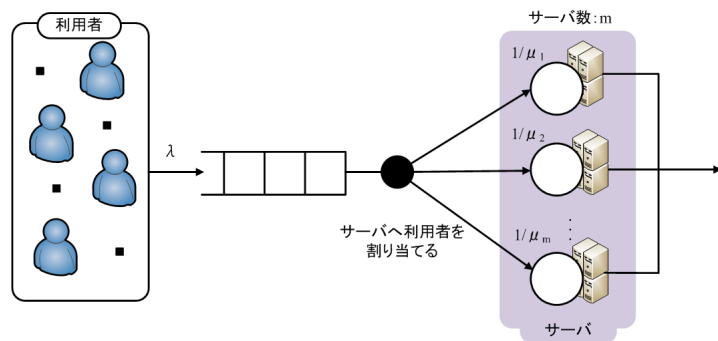


図4 VCHS 型待ち行列システム

サーバにおける処理時間は、平均処理率を $1/\mu_s (s = 1, 2, \dots, m)$ とする任意の確率分布 D_2 に従う。また、システムのバッファ部において、利用者同士は協調し、システムでサービスを受け終わった利用者はリトライする。

以下、3.1 節では、利用者同士の協調行動について、3.2 節では、利用者のリトライについて説明する。

3.1 利用者同士の協調行動

本稿では、システム内で利用者同士が協調行動をとる。協調行動は、システムに到着してから、バッファで待機している間におこなわれるものとする。以下に、具体例を用いて説明する。

システム内に、今まさにサービスを受けようとしている利用者 (C_1) が 1 人、その A の次にサービスを受けるために待機している利用者 (C_2) が 1 人だけいるとする。このような状況のときに限り、 C_1 は C_2 の持つ要求の量 (または難易度) を確認する。その値が、自分の持つ値より低ければ、順番を譲り、高ければ譲らない。順番を譲る回数は 1 人 1 回とする。

3.2 利用者のシステムへのリトライ

利用者同士の協調行動によって順番を譲ってもらってサービスを受けた利用者は、サービスに満足し、再びシステムを利用することが考えられる。本稿では、これを利用者のシステムへのリトライ⁶⁾ としてとらえる。リトライする利用者は、順番を譲ってもらってサービスを受けた利用者の中の一部の利用者とする。したがって、利用者のリトライ確率を p で表すこととする。利用者のリトライ回数は制限しないものとする。

リトライした利用者の協調行動

リトライした利用者は、前回のシステムの利用において順番を譲ってもらったことを覚えており、そのことによって、通常の利用者とは異なる状況において協調行動をとるとする。以下に、具体例を用いて説明する。

システム内に、今まさにサービスを受けようとしているリトライした利用者 (C_3) が 1 人、その C_3 の次にサービスを受けるために待機している利用者 (C_4) が 1 人以上いるとする。このような状況のとき、 C_3 は自分の直後の C_4 の持つ要求の量 (または難易度) を確認する。その値が、自分の持つ値より低ければ、順番を譲り、高ければ譲らない。順番を譲る回数は 1 人 1 回とする。

以上のシステムを、協調行動やリトライ、利用者 1 人 1 人の性格の違いを表すことを考慮して、マルチエージェントシステム⁷⁾ として表現する。

4. 数 値 例

シミュレーションを実行するにあたっての数値例を示す。

以下、4.1 節で量的 VCHS 問題、4.2 節で質的 VCHS 問題において、利用者同士の協調行動、利用者のシステムへのリトライがある状況下でのシミュレーション結果を示す。

4.1, 4.2 節のいずれにおいても、利用者の到着はポアソン分布、利用者のサービス時間は指数分布に従うとし、 $\lambda = 0.018$ とする。 $1/\mu_s (s = 1, 2, \dots, m)$ は、4.1, 4.2 節において異なる値であるため、各節において説明する。これらの値の設定には、文献³⁾ を参考とした。また、 $m = 3$, $p = 0.1$ とする。シミュレーションは 80000step 実行し、5 回の平均値と分散を結果として出力する。なお、開発環境として、(株) 構造計画研究所の artisoc⁸⁾ を用いた。

本稿では、シミュレーション結果を利用者のリトライを考慮しない場合は利用者同士の協調行動の有無で、リトライを考慮する場合はリトライの有無で比較し、検討・考察をおこなう。比較項目は、利用者の平均待ち時間とする。

4.1 量的 VCHS 問題

量的 VCHS 問題における利用者の要求とサーバの処理能力のパラメータ設定について表 4 に示す。

量的 VCHS 問題における各サーバの平均処理率 $1/\mu_s (s = 1, 2, 3)$ は、(2) 式によって決まる。

表 1 設定パラメータ (量的 VCHS 問題)

	設定項目	設定値
利用者	要求の種類	3 種類 (要求 1, 要求 2, 要求 3)
	要求の量比	要求 1:要求 2:要求 3= 20 : 100 : 180
	要求の到着比	要求 1:要求 2:要求 3= 1 : 5 : 9
サーバ	サーバの種類	3 種類 (サーバ 1, サーバ 2, サーバ 3)
	サーバの処理速度比	サーバ 1:サーバ 2:サーバ 3= 0.2 : 1 : 1.8

$$1/\mu_s = \frac{\text{割り当てられた利用者の要求量}}{\text{各サーバの処理速度}} \quad (s = 1, 2, 3) \quad (2)$$

以下, 4.1.1, 4.1.2 節の順で, 利用者のリトライが考慮しない場合と考慮する場合のシミュレーション結果を示す.

4.1.1 利用者のリトライが考慮しない場合

シミュレーション結果を表 2 に示す.

表 2 シミュレーション結果 (リトライを考慮しない場合)

	協調あり		協調なし	
	平均	分散	平均	分散
戦略 1	142.26	2262.38	153.23	5046.82
戦略 2	181.20	3299.00	128.84	1370.73
戦略 3	156.76	8437.02	129.78	360.32
戦略 4	127.07	821.40	132.99	1151.90

表 2 より, 戦略 1, 4 において利用者同士の協調行動により, 利用者の平均待ち時間が減少しているが, その他の戦略では増加していることがわかる. これは, 高い要求量を持つ利用者が低い要求量を持つ利用者へ順番を譲ることにより, 高い処理速度を持つサーバが割り当てられないためであると考えられる.

4.1.2 利用者のリトライが考慮する場合

シミュレーション結果を表 3 示す.

表 3 より, 戦略 1, 4 において利用者のリトライがある場合において, 利用者の平均待ち時間が減少しているが, その他の戦略では増加していることがわかる. このことから, 利用

表 3 シミュレーション結果 (リトライを考慮する場合)

	リトライあり		リトライなし	
	平均	分散	平均	分散
戦略 1	132.95	1062.39	142.26	2262.38
戦略 2	183.06	787.28	181.20	3299.0
戦略 3	183.09	3371.02	156.76	8437.02
戦略 4	117.56	198.18	127.07	821.40

者のリトライにより, 協調行動がシステムに及ぼす影響が大きくなっていることが確認できる.

4.2 質的 VCHS 問題

システムに到着する利用者の持つ要求の難易度とサーバの処理スキルのパラメータ設定について, 表 4 に示す. なお, 質的 VCHS 問題では, 各サーバの平均処理率 $1/\mu_s (s = 1, 2, 3)$ は 100 とする.

表 4 設定パラメータ (量的 VCHS 問題)

	設定項目	設定値
利用者	要求の種類	3 種類 (要求 A, 要求 B, 要求 C)
	要求の難易度比	要求 A:要求 B:要求 C= 1 : 2 : 3
	要求の到着比	要求 A:要求 B:要求 C= 1 : 1 : 1
サーバ	サーバの種類	3 種類 (サーバ A, サーバ B, サーバ C)
	サーバの処理スキル比	サーバ A:サーバ B:サーバ C= 1 : 2 : 3

以下, 4.2.1, 4.2.2 節の順で, 利用者のリトライが考慮しない場合と考慮する場合のシミュレーション結果を示す.

4.2.1 利用者のリトライが考慮しない場合

シミュレーション結果を表 5 に示す.

表 3 より, 戦略 A, D において利用者同士の協調行動により, 平均待ち時間が減少したが, その他の戦略では増加していることがわかる. これは, 高い要求難易度を持つ利用者が, 低い要求難易度を持つ利用者へ順番を譲るため, 高い処理スキルを持つサーバを利用することができず, 処理待ちが起きているためであると考えられる.

表 5 シミュレーション結果 (利用者のリトライを考慮しない場合)

	協調あり		協調なし	
	平均	分散	平均	分散
戦略 A	353.59	18783.05	523.44	33870.90
戦略 B	649.25	139234.94	525.37	66818.24
戦略 C	399.50	25315.18	250.48	10829.81
戦略 D	304.79	9925.77	549.64	136726.90

4.2.2 利用者のリトライが考慮する場合

シミュレーション結果を表 6 に示す。

表 6 シミュレーション結果 (利用者のリトライを考慮する場合)

	リトライあり		リトライなし	
	平均	分散	平均	分散
戦略 A	304.67	6638.75	353.59	33870.90
戦略 B	705.95	128624.47	649.25	139234.94
戦略 C	409.30	61492.37	399.50	25315.18
戦略 D	271.61	3099.44	304.79	9925.77

表 3 より、戦略 A、D において利用者のリトライがある場合において、利用者の平均待ち時間が減少しているが、その他の戦略では増加していることがわかる。このことから、4.1.2 節と同様に、利用者のリトライにより、協調行動がシステムに及ぼす影響が大きくなっていることが確認できる。

5. おわりに

本稿では、利用者の要求、サービス提供者のサービス提供能力の多様性を考慮し、情報通信ネットワークシステムを VCHS 型待ち行列システムとしてとらえ、利用者同士の協調行動、リトライのある状況におけるデザイン手法について検討した。

その結果、協調行動、利用者のリトライは、戦略によって、システムに与える影響が異なることがわかった。

今後の課題として、利用者の要求の量と難易度、サーバの処理速度と処理スキルを同時に

考慮した混合型 VCHS 問題におけるデザイン手法の検討等が挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 総務省 (編), 情報通信白書 平成 22 年度版, ぎょうせい, 東京, July, 2010.
- 2) 野中優, 能上慎也, “多様な客に対する能力別サーバ割り当て問題について”, 電子情報通信学会総合大会論文集, B-7-54, 2008.
- 3) 清水哲, 能上慎也, “量的・質的 VCHS 問題のシミュレーション評価”, 信学技報, vol.110, no.341, pp.63-68, 2010.
- 4) 森村英典, 大前義次, 『応用待ち行列理論』, 日科技連, 1975.
- 5) 上林憲行, 『サービスサイエンス入門 -ICT 技術が牽引するビジネスイノベーション-』, オーム社, 2007.
- 6) J.R.Artelego, A.G.Corrall, 『Retraial Queueing Systems: A Computational Approach』, springer, 2008.
- 7) 高玉圭樹, 『マルチエージェント学習 -相互作用の謎に迫る-』, コロナ社, 2003.
- 8) 構造計画研究所, <http://www.kke.co.jp/>.