

D-001

管理ポリシーに準じた複数ストレージへの論理ユニット順次割当方式
Method of Logical Unit Assignment to Multiple Storages Based on Management Policies

宮田 美知太郎
Michitaro Miyata

長谷部 賀洋†
Yoshihiro Hasebe

1. はじめに

近年、計算機の処理能力や記憶容量等のリソースをユーザからの要求に応じて必要なだけ提供するユーティリティコンピューティングや、アプリケーションソフトの機能をネットワーク越しに提供する SaaS(Software-as-a-Service)と呼ばれるサービスが急速に注目を浴びている。このようなサービスを提供するシステムは一般に、規模が大きく、複数ユーザのプログラムやデータが同居するマルチテナント型である。

システム上に複数のユーザが同居するシステムには、複数のユーザから不定期かつ多様な条件のリソース新規割当や条件変更等の要求が行われる。そのため要求内容の予測が困難である場合が多い。加えて、システムに対する性能やサービス開始リードタイム等の条件をSLA(Service Level Agreement)により明確化する動きがある。そのためシステムを構成するサーバ、ストレージ、ネットワーク等に対して要求条件に合致するリソース割当を迅速に行う事が求められつつある [1]。

上記のシステム構成要素のうちストレージに着目した場合、要求される条件は主に記憶先に関する条件、及び容量の2種類である。システムはこれらの条件を全て満たすようにストレージから記憶領域を論理ユニット(以下 LU = Logical Unit)と呼ばれる単位で割当てる。システムが単一のストレージ装置を持つ場合は記憶先の条件、及び空き容量の確認によりLUの割当が可能である。

しかし、LUの割当先決定手順はストレージのシステム構成により複雑化する。近年ではSAN(Storage Area Network)の普及により、システム上に複数のストレージ装置を持つことが容易に実現可能である。また複数のストレージ装置が存在する場合、機能、性能が異なる装置が導入されている可能性がある。よってこれらの場合割当先の決定手順は複雑化し、容量以外に各ストレージの機能、性能と要求された条件とを比較して適したストレージへのLUの割当が必要である。加えてシステムの特長や予算上の制約等から、大局的なリソースの使用方針(本稿では管理ポリシーと呼ぶ)はシステム毎に異なる。このため、LUの割当はユーザからの個々の要求条件を満たすだけでなく、システム毎に異なるあらかじめ指定された管理ポリシーに従って行う必要がある。

本稿では、複数の異機種ストレージに対して、ユーザからの個々のLU割当要求条件を満たし、かつ管理ポリシーに従ったLU割当を行う方式の提案と検証を行う。提案方式により、複数の異なるストレージが存在する環境下におけるLU割当を実現する。

2. 提案方式

提案方式が対象とするシステムの全体概要を図1に示す。図1の割当サーバは、ユーザからのLU割当要求を受けて割当を行うストレージ装置の決定および割当を行う。

システム管理者は事前に割当サーバにサービスレベルと管理ポリシーを設定しておく。ここでサービスレベルとは、複数のLU割当要求条件を組み合わせとして定義したものである。例えばLU割当要求条件としてRAIDレベルとHDD種別を指定可能なシステムの場合、[RAIDレベル=1、HDD種別=FC]や[RAIDレベル=5、HDD種別=SATA]等を事前に定義しておく。一方、ユーザは割当サーバに対して、定義済みのサービスレベルと論理容量を指定してLU割当要求を行う。

本提案方式では、割当サーバがユーザからLU割当要求を受けると、各ストレージ装置についての「決定指標」を算出し、最も「決定指標」の大きな値を持つストレージ装置1台をLU割当対象として決定する。「決定指標」の具体的な算出方法については以降の節で述べる。

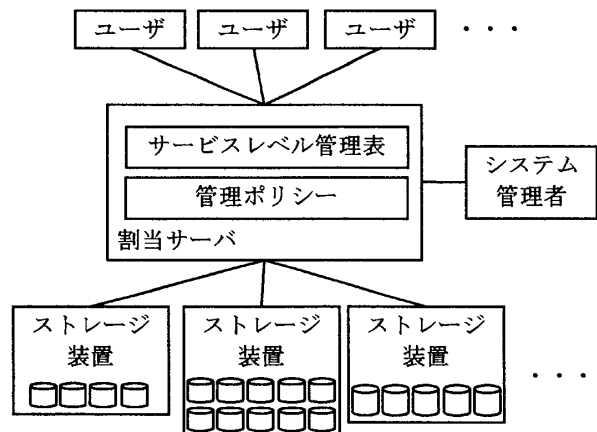


図1 システム全体概要

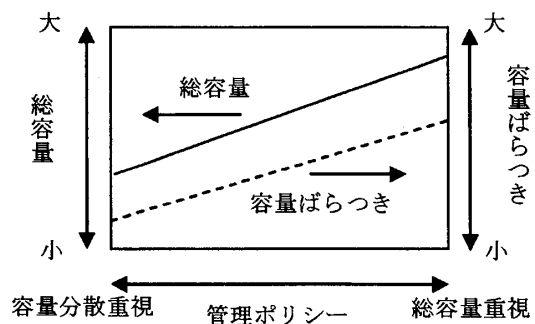


図2 管理ポリシーと容量特性の関係

†日本電気(株)システムプラットフォーム研究所
System Platforms Research Laboratories,
NEC Corporation

2.1 管理ポリシーの定義

本稿では管理ポリシーとして「容量分散重視」型と「総容量重視」型の2種類を定義する。「容量分散重視」型は、複数のストレージ装置に割当てられる論理容量ができるだけ均等になるようにLU割当を行う方針である。「総容量重視」型とは、できるだけ多くの論理容量を割当てられるようにLU割当を行う方針である。また、これらの中間状態も設定できる事を目指す。

一般に、この二つの管理ポリシーは両立しない。可能な限り多くの論理容量を割当てようとする、ストレージ装置間で論理容量の偏りが生じる要因になり、一方で、論理容量を分散させようとする、他のサービスレベルに割当て得る領域を使ってしまい、割当可能な全論理容量が減少するためである。

図2に管理ポリシーと容量特性との理想的な関係を示す。管理ポリシーの設定が「容量分散重視」型に近いほどストレージ装置間の容量ばらつきは減少し、「総容量重視」型に近いほど割当可能な総容量は増加する。また、両者の中間状態に設定した場合は設定の割合に応じて容量ばらつきと総容量は単調に変化する。

2.2 「容量分散重視」型の割当を行う方法

「容量分散重視」型、すなわち全てのストレージ装置に均等に論理容量を割当てる方針を実現するためには、LU割当要求を受けた時点で最も割当てられている論理容量が少ないストレージ装置に割当を行えば良いと考えられる。すなわち、「容量分散重視」の割当を行うための「決定指標」(Index1と表記する)としては、式1に示すように、割当済み論理容量の逆数を用いる。逆数を用いるのは「決定指標の大きなものを選択する」ように極性を統一するためである。なお、式1中の(st)はストレージ装置Stに依存する値であることを表す。

2.3 「総容量重視」型の割当を行う方法

「総容量重視」型の割当は、次の2つの条件を満たすストレージ装置に優先的に割当を行う事により実現する事を考える。

[条件1] 要求サービスレベルを割当可能な論理容量が大きい。

[条件2] 要求サービスレベル以外には割当可能なサービスレベルが少ない。

ここで[条件2]の条件を定量的に表すため、「共用度」およびサービスレベル間の「リソース共用性」という概念を導入する。「共用度」は、あるリソースに割当可能なサービスレベルの数とする。また「リソース共用

性」は、あるサービスレベルを割当可能なリソース群に対して、どの程度別のサービスレベルのLUを割当てる事が可能であるかを示す概念とする。すなわちリソース共用性は、共用度の高いリソース量が多い程大きく、また共用度が高い程大きくなる指標である。

リソース共用性について図3(a)~(d)を用いてより詳細に説明する。図3(a)~(d)はそれぞれ異なるストレージ装置St1~St4におけるリソースの状態の例を示す。Rはリソースを集合として図示したものであり、R(St)と表記した場合ストレージStの持つ全リソース、R(St,SL)と表記した場合、ストレージStの持つリソースのうちサービスレベルSLに割当可能なリソースを意味する。図3中に[]で示した数字は共用度である。

図3(a)はサービスレベルSL1に割当可能なリソースとSL2に割当可能なリソースの集合が重複しない例である。この場合、R(St1,SL1)もR(St1,SL2)もそれぞれの集合全体について共用度は1である。

図3(b)および(c)は複数のサービスレベルに対して割当可能なリソースの集合が有る例である。図3(b)においてR(St2,SL1) ∩ R(St2,SL2)はサービスレベルSL1にもSL2にも割当可能な集合であり、共用度は2である。ただし割当は排他的であり、一度いずれかのサービスレベルに割当てた後は割当不可能なリソースとなる。図3(b)(c)においてサービスレベルSL1に割当可能なリソースであるR(St2,SL1)とR(St3,SL1)は同じ大きさであるが、SL1にもSL2にも割当可能な共用度2の集合についてはR(St2,SL1) ∩ R(St2,SL2)よりも、R(St3,SL1) ∩ R(St3,SL2)の方が大きい。これは、ストレージSt2よりもSt3の方がサービスレベルSL1に対してリソース共用性が大きい事を意味する。

図3(d)は、図3(c)の例に加えてサービスレベルSL3に対しても割当可能なリソースの集合がある例である。R(St4,SL1) ∩ R(St4,SL2) ∩ R(St4,SL3)の共用度は3である。図3(c)(d)において、R(St3,SL1)とR(St4,SL1)が同じ大きさであり、かつR(St3,SL1) ∩ R(St3,SL2)とR(St4,SL1) ∩ R(St4,SL2) ∩ R(St4,SL3)が同じ大きさである場合、St3よりもSt4の方がサービスレベルSL1に対してリソース共用性が大きい事を意味する。

本稿では、「総容量重視」型割当を実現する「決定指標」(Index2と表記する)として、式2を用いる。式2の「割当可能論理容量(St,SL)」は[条件1]を、Σ以降は[条件2]を定量的に表したものである。すなわちΣ以降はリソース共用性を定量的に表現したものであり、サービスレベルSLに割当可能なリソース(物理容量)の共用度が1のみの時に1となり、リソース共用性が大きくなる程小さな値となる。

$$\text{Index1}(St) = \frac{1}{\text{割当済み論理容量}(St)} \quad \dots \text{(式1)}$$

ただし 割当済み論理容量(St) = 0の時、Index1(St) = Cとする (C: C>1の定数、本稿ではC=10とした)

$$\text{Index2}(St, SL) = \text{割当可能論理容量}(St, SL) \times \sum_m \left(\frac{\text{共用度}m\text{の割当可能物理容量}(St, SL)}{\text{割当可能物理容量}(St, SL)} \times \frac{1}{m} \right) \quad \dots \text{(式2)}$$

ただし 割当可能物理容量(St, SL) = 0の時、Index2(St, SL) = 0とする

$$\text{Index}(St, SL) = \text{Index1}(St)^{(1-\alpha)} \times \text{Index2}(St, SL)^\alpha \quad \dots \text{(式3)}$$

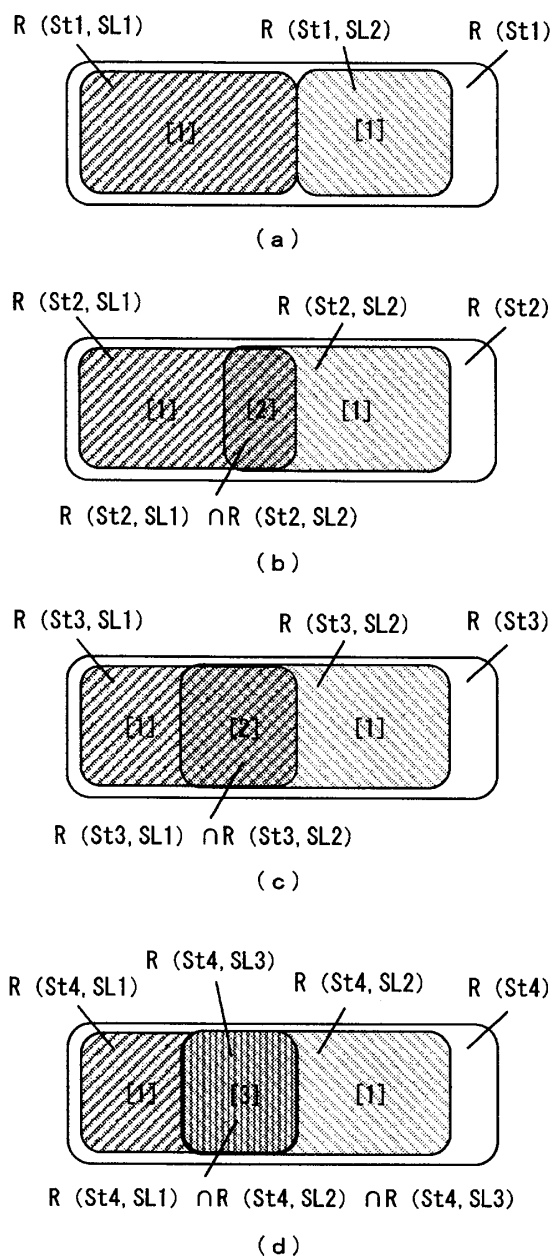


図3 リソース共用性の例

2.4 決定指標の算出式

「容量分散重視」型と「総容量重視」型およびこれらの中間的な管理ポリシーを実現するための「決定指標」(Indexと表記する)として式3を用いる。Indexは「容量分散重視」型割当に用いる Index1 の影響と「総容量重視」型割当に用いる Index2 の影響をパラメータ α ($0 \leq \alpha \leq 1$) により調整するものである。 $\alpha = 0$ の時は「容量分散重視」型割当となり、 $\alpha = 1$ の時は「総容量重視」型割当となる。システム管理者が管理ポリシーの設定を行うためには、割当サーバに対して α の値を設定する。

3. 提案方式の検証

3.1 検証方法

提案方式の検証をシミュレーションにより行った。シミュレーションプログラム上でストレージ装置の RAID の設定や LU 割当状態を模擬し、LU 割当要求をランダムに発生させ、提案方式による LU 割当を行った。本検証ではシミュレーションパラメータとしてストレージ装置、サービスレベル、管理ポリシー、LU 割当要求パターンについて、次の条件を設定した。

ストレージ装置

- ・性能: 0~2 (数値が小さいほど高性能)
- ・HDD 1台あたりの物理容量
- ・HDD 数

サービスレベル

- ・ストレージ装置性能 (最小値と最大値を指定)
- ・RAID レベル
- ・RAID ディスク数

管理ポリシー

- ・ α の値 (「容量分散重視」型~「総容量重視」型)

LU 割当要求発生パターン

- ・サービスレベル発生頻度
- ・要求容量 (最小、最大、指定可能ステップ)

提案方式の評価指標としてはストレージ全体の総容量と容量分散をそれぞれ評価するため2つの指標を用いた。ストレージ全体の総容量を評価する指標には、いずれのストレージ装置にも割当不可能な LU 割当要求が発生した時点での割当済み論理容量の合計値 (総容量) を用いた。

表1 結果例の条件

	St0	St1	St2
性能	0	1	2
物理容量 / HDD	300GB	300GB	300GB
HDD 数	100	100	100

(a) ストレージ装置

	SL0	SL1	SL2
ストレージ装置性能	0-0	0-1	0-2
RAID レベル	10	6	5
RAID ディスク数	8	6	5

(b) サービスレベル

発生頻度	SL0:SL1:SL2=1:2:3
要求容量	100GB~1200GB (100GB 単位)

(c) LU 割当要求発生パターン

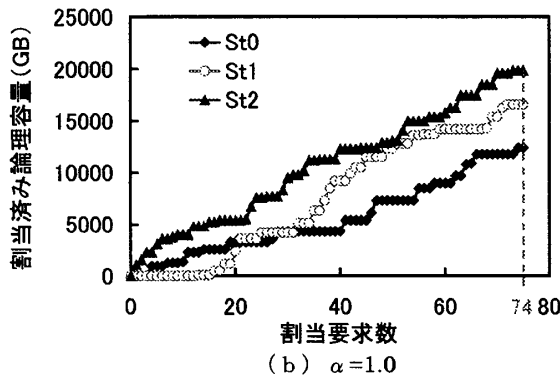
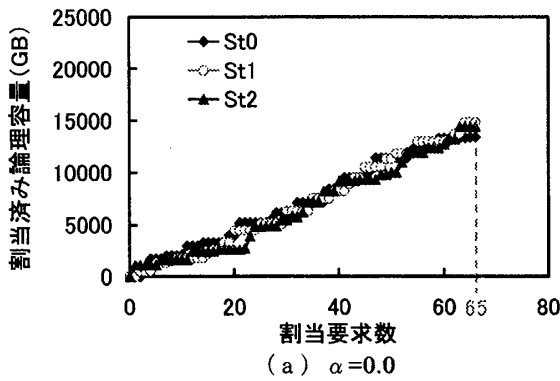


図4 割当済み論理容量の変化

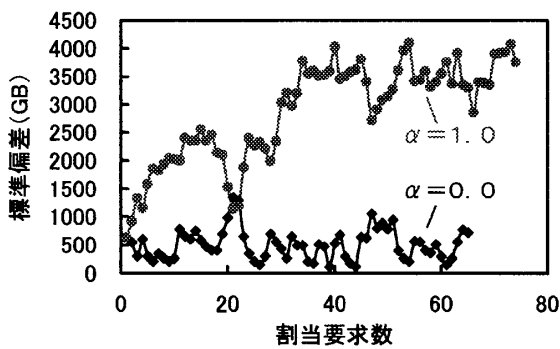


図5 標準偏差の変化

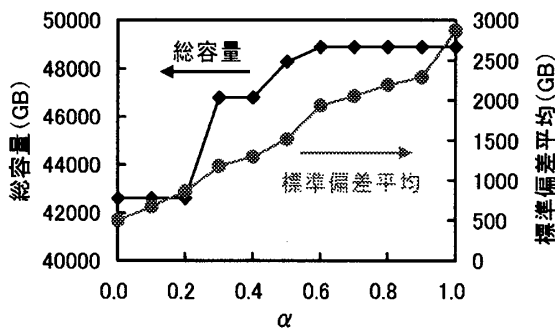


図6 α 依存性

一方、容量分散を評価する指標として、各ストレージ装置に割当てられたLUの論理容量の標準偏差を用いた。ただし、割当が実行される毎に標準偏差は変化するので、割当不可能なLU要求が発生するまでの標準偏差の平均を評価指標として用いた。

3.2 検証結果

図4～図6に結果の一例を示す。本例で用いたストレージ装置(3台)、サービスレベル(3種)、LU割当要求発生パターンは、表1の通りである。

図4(a)(b)にそれぞれ $\alpha = 0.0$ (「容量分散重視」型)に設定した時と $\alpha = 1.0$ (「総容量重視」型)に設定した時に、LU割当要求に対して各ストレージ装置にLUが割当てられる様子を示す。 $\alpha = 0.0$ の時は $\alpha = 1.0$ の時に比べてストレージ装置間で論理容量のばらつきが少なくなるように割当が行われている事がわかる。また、 $\alpha = 0.0$ の時の時よりも $\alpha = 1.0$ の時の方が割当可能なLU割当要求数が多いことがわかる。

図5に $\alpha = 0.0$ に設定した時と $\alpha = 1.0$ に設定した時のLU割当要求に対する割当済み容量の標準偏差の変化を示す。 $\alpha = 0.0$ の時は $\alpha = 1.0$ の時に比べて標準偏差が小さい事がわかる。

図6に割当可能な総容量と標準偏差平均の α 依存性を示す。 $\alpha = 0.0$ の時と $\alpha = 1.0$ の時を比較すると、総容量は約6300GB(約15%)、標準偏差平均は約2400GB(約465%)の差が得られている。また、総容量も標準偏差平均も α に対して単調増加である事がわかる。

これより、提案方式により「容量分散重視」型と「総容量重視」型およびその中間状態の管理ポリシーに準じたLU割当が実現できる事がわかる。

4. おわりに

複数の異機種ストレージ装置を有するストレージシステムに対して論理ユニット割当要求が順次行われるシステムにおいて、各割当要求毎のサービスレベルを満たしつつ、あらかじめ指定したシステム全体の管理ポリシーに準じて論理ユニットの割当を実行する方式の提案および検証を行った。管理ポリシーとして「容量分散重視」型と「総容量重視」型の二つを考え、特に「総容量重視」型の割当を実現する方法としてサービスレベル間のリソース共用性を用いた方式を提案した。シミュレーションによる検証からこれら2つの管理ポリシーおよびこれらの中間ポリシーを設定でき、設定した管理ポリシーに準じた割当が実行される事を示した。今後の課題として、他の管理ポリシーへの対応や、指定できるサービスレベル項目の拡張を考えている。

参考文献

- [1] 社団法人 電子情報技術産業協会, “民間向け IT システムの SLA ガイドライン 第三版”, 日経 BP 社, 2006, pp.132-141