

モデル予測制御によるハイブリッドクラウド環境での ビジネスクリティカルシステムの計算資源配置の一検討

小川祐紀雄 長谷川剛 村田正幸
室蘭工業大学 大阪大学 大阪大学
情報メディア教育センター サイバーメディアセンター 大学院情報科学研究科

1

2

研究の背景と目的

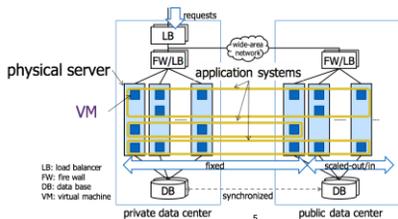
- 背景
既存オンプレミス型ビジネスクリティカルアプリケーションシステムでは、ピークトラフィックに合わせて計算資源を配備するため、計算資源は低利用率
- 解決アプローチ
プライベートデータセンターに需要の平均値程度の計算資源を固定的に配備、需要増加時にはIaaS型パブリックデータセンターの計算資源をオンデマンドで追加(ハイブリッドクラウドシステム化)
- 研究目的
ハイブリッドクラウドシステムにおいてサービス性能や可用性を守りつつコストを削減する計算資源の最適配備のための解析モデル構築、評価

IaaS: Infrastructure as a Service

3

ハイブリッドクラウドシステムの構成概要

- ビジネスクリティカルシステム向けに二センター構成
- サービス事業者が物理サーバ専有、プライベート:台数固定、パブリック:台数可変、アプリケーションシステム最小構成は、プライベート・パブリックデータセンターに仮想サーバ各一台中、需要増加時はプライベート、パブリックの順に仮想サーバ割り当て増加。



5

目次

- はじめに: 背景と目的、従来研究と課題
- システム概要: 構成、制御フロー
- 計算資源配備モデルの提案
- 評価結果
- まとめと今後の課題

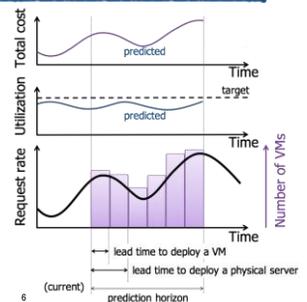
従来研究と課題

- 従来研究
 - プロアクティブ制御。例: リクエスト量予測に基づき、仮想サーバ利用率を一定以下にしつつ全体コストを最小化する仮想サーバ割り当て[1]
 - 短周期(数10分単位)制御。制御オーバーヘッドを考慮しモデル予測制御を適用。例: 応答時間と仮想サーバ数・制御回数を考慮したオートスケーリング[2]
- 課題
 - モデル化: [1] M. Björkqvist, L.Y. Chen, and W. Binder, "Cost-driven service provisioning in hybrid clouds," Proc. of 2012 5th IEEE SOCA, pp.1-8, Dec. 2012. システム多リソースの物理サーバ専有構成によるタイムコストを多く削減するモデル化は物理サーバ専有構成によるタイムコスト削減に効果的であるが、仮想サーバ数10分以上、仮想サーバ配備:数分以上
 - 評価: モデル予測制御に伴う予測誤差の影響

4

モデル予測制御による制御の概要

- タイムスロット幅を10分、配備リードタイムを仮想サーバ:10分、物理サーバ:20分と設定
- 予測区間のアプリケーションシステムへのリクエストを予測。予測区間において、仮想サーバ利用率が目標値以下、全体コストを最小にする仮想および物理サーバ配備台数算出
- 現在から2タイムスロット先の仮想サーバの配備と3タイムスロット先の物理サーバの配備を決定



6

計算資源配備モデル
評価関数

目的: 全体コストの最小化

Objective: minimize

$$\sum_{\tau=t+1}^{t+h} (R(\tau) + \alpha F(\tau) + \beta O(\tau))$$

A. 計算資源配備に関するコスト
B. 障害時のサービス性能低下量
C. 計算資源操作量

α, β : コスト換算のための重み付け定数
 例1: $\alpha=1, \beta=0$ とすると障害時のサービス性能低下量をコストとして考慮
 例2: $\alpha=0, \beta=1$ とすると計算資源の操作量をコストとして考慮

7

計算資源配備モデル

B. 障害によるサービス性能の低下量

- 物理機器の単一障害を対象
- サービス回復時間は同時障害となる仮想サーバ数の二乗に比例と仮定[1]

$$F(\tau) = \sum_{j=1}^K \gamma_j \sum_{i=1}^{M_{pr} + M_{pb}(\tau)} n_{ij}(\tau)^2$$

アプリケーションシステム の重み付け定数
物理サーバ i においてアプリケーションシステム を構成する仮想サーバの台数

- 仮想サーバが割り当てられている物理サーバ数が少ないほど、仮想サーバが分散して物理サーバに割り当てられ同時に障害となる数が少ないほど、サービス性能低下量は小さくなる

[1] P. Bodik, I. Menache, M. Chowdhury, P. Mani, D.A. Maltz, and I. Stoica, "Surviving failures in bandwidth-constrained datacenters," Proc. of the ACM SIGCOMM Conf., pp.431-442, Aug. 2012.

9

計算資源配備モデル

制約条件

$$\sum_{k=1}^K n_{ij}(\tau) \leq n_{vm} \quad (\forall i \in \{1, \dots, M_{pr} + M_{pb}(\tau)\})$$

物理サーバ i における仮想サーバ数の合計
物理サーバ i あたりの仮想サーバ数 (定数)

$$\frac{\lambda_j(\tau)}{\mu_j \sum_{i=1}^{M_{pr} + M_{pb}(\tau)} n_{ij}(\tau)} \leq C_j \quad (\forall j \in \{1, \dots, K\})$$

アプリケーションシステム のリクエスト受信率予測値
予測誤差により、実際は制約を守れないことがある

アプリケーションシステム の利用率
アプリケーションシステム の利用率しきい値 (定数)

11

計算資源配備モデル

A. 計算資源配備に関するコスト

$$R(\tau) = R_{pr}(\tau) + R_{pb}(\tau)$$

プライベートデータセンターでのコスト
パブリックデータセンターでのコスト

$$R_{pr}(\tau) = c_{pr} M_{pr} + c_{ecp} \left[(1-e) \sum_{i=1}^{M_{pr}} \left[\sum_{j=1}^K \frac{n_{ij}(\tau)}{n_{vm}} \right] + e \sum_{i=1}^{M_{pr}} \sum_{j=1}^K \frac{n_{ij}(\tau)}{n_{vm}} \right]$$

物理サーバ調達コスト
物理サーバ稼働時の電力コスト

$$R_{pb}(\tau) = c_{pb} M_{pb}(\tau) + c_{tr} \sum_{j=1}^K d_j \lambda_j \delta \sum_{i=M_{pr}+1}^{M_{pr}+M_{pb}(\tau)} n_{ij}(\tau) + c_{tr} \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{M_{pr}+M_{pb}(\tau)} n_{ij}(\tau)$$

物理サーバ利用コスト
データ転送コスト

8

計算資源配備モデル

C. 計算資源の操作量

$$O(\tau) = \left(\sum_{i=1}^{M_{pr}} \left[\sum_{j=1}^K \frac{n_{ij}(\tau)}{n_{vm}} \right] - \sum_{i=1}^{M_{pr}} \left[\sum_{j=1}^K \frac{n_{ij}(\tau-1)}{n_{vm}} \right] \right)$$

プライベートデータセンターにおける物理サーバの操作回数
パブリックデータセンターにおける物理サーバの操作回数

$$+ (M_{pb}(\tau) - M_{pb}(\tau-1))$$

$$+ \sum_{i=1}^{M_{pr}+M_{pb}(\tau)} \sum_{j=1}^K [n_{ij}(\tau) - n_{ij}(\tau-1)]$$

仮想サーバの操作回数

10

リクエスト受信率の予測

- $\lambda_j(t)$ (アプリケーションシステム j の時刻 t でのリクエスト受信率)
- 差分演算および 階乗差分演算を行いを定常化させたのち、ARIMA (自己回帰和分移動平均) モデルを適用、 t 時点スロット先の予測値 $\hat{\lambda}_j(t+h)$ を算出

$$y_t = (1-B)^d (1-B^s)^D \lambda_j(t) \quad (Bx_t = x_{t-1})$$

定常化時系列
アプリケーションシステム のリクエスト受信率

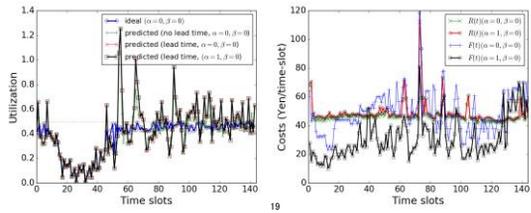
$$y_t = \sum_{v=1}^p \phi_v B^v y_t + (1 + \sum_{w=1}^q \theta_w B^w) \epsilon_t$$

p 次自己回帰過程
 q 次移動平均過程
誤差項

12

付録：障害によるサービス性能低下量を考慮した場合

- $\alpha=1, \beta=0$ とし、障害によるサービス性能の低下を考慮すると、物理サーバに対して仮想サーバが分散配置される
- 仮想サーバの配置のみ変更され台数は変更されないことが多く、システム利用率や計算資源コストは変化せず



19