

Osaka University

分散型モデル予測制御にもとづく スケーラビリティを有する 仮想ネットワーク埋め込み手法

河島 滉太 大歳 達也 大下 裕一 村田 正幸
大阪大学 大学院情報科学研究科

Osaka University

仮想ネットワークの収容

- 複数の仮想ネットワーク (VN) を単一のネットワーク上に収容
- 各サービスにあわせたネットワークを展開可能

2015/7/16

Osaka University

動的な仮想ネットワーク埋め込み制御

- 仮想資源の需要要求は常に変動
- 各時刻の需要にあわせた仮想ネットワーク収容により、資源の効率的な利用が可能

観測需要ベースの手法では、環境変動への対応に遅れ
・資源の不足を検出してから、マイグレーションを開始すると、マイグレーション終了までの時間帯で資源不足となる

2015/7/16

Osaka University

研究目的とアプローチ

- 目的
 - 需要変動といった環境変動に追従可能な VNE 手法の確立
 - 需要変動に先駆けてマイグレーションを開始するような制御手法
- アプローチ
 - モデル予測制御^③ (MPC) にもとづく VNE 手法の提案
 - 将来の予測をふまえた収容位置の決定
 - 予測誤差にロバストな収容位置の決定
 - 分散化による制御時数軽減
 - 分散型モデル予測制御^④ (DMPC) にもとづく VNE 手法の提案

[3] S. J. Qin and T. A. Badgwell, "A survey of industrial model predictive control technology," *Control Engineering Practice*, vol. 11, pp. 733-784, July 2008.
[4] E. Camponogara, D. Jia, S. H. Knappa, and S. Zhikuda, "Distributed Model Predictive Control," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 22, pp. 44-52, Feb. 2002.

2015/7/16

Osaka University

モデル予測制御^③ (MPC)

- 概要
 - システムの出力値が目標値に近づくよう入力値を設定
 - システムの将来の振る舞いを考慮した段階的な入力設計
- フィードバックによる予測の修正
 - 各制御周期では直近の入力値のみ投入
 - 出力をフィードバックとして予測を修正し入力値を再計算

予測をふまえた制御を行いつつも、予測誤差にロバストな制御を実現

2015/7/16

Osaka University

MPCにもとづく仮想ネットワーク埋め込み手法

- 最適化問題によって収容位置を決定

$$\text{minimize } (1-w) \sum_{0 \leq t \leq H} \xi(t) + w \sum_{0 \leq t \leq H} \sum_{i \in N^p} \sum_{j \in N^v} |M_{j,vn}^{\text{Node } i}(t) - M_{j,vn}^{\text{Node } i}(t-1)|$$
 - $\xi(t)$: 使用する物理ノード数
 - H : 予測対象区間 (予測ホライズン)
 - w : 仮想ノード移動量の重み
 - N^p : 管理する仮想ネットワーク番号
 - N^v : 収容する仮想ネットワーク数
 - $N^{\text{Node } i}$: 物理ノード
 - $M_{j,vn}^{\text{Node } i}(t)$: 仮想ネットワークjの仮想ノードiの収容位置
- 動作
 - 使用する物理ノード数を抑える
 - マイグレーションによる負荷を抑える
- 動作
 - $[t+1, \dots, t+H]$ の需要を予測
 - 予測値を用いて収容位置を計算
 - 計算結果のうち、 $t+1$ の結果のみをシステムへ投入

問題点: 収容仮想ネットワーク数増加による制御時間の爆発的増加

短時間周期による制御

観測需要

解決案: 分散型モデル予測制御の適用 (VNE-DMPC)

2015/7/16

Osaka University

分散型モデル予測制御^[4] (DMPC)

- 複数のエージェントが連携動作
 - それぞれのエージェントが MPC を実行
 - エージェント間の連携によって全体の制御を図る

MPC の利点を保持しつつ、制御周期の短縮が可能

制御系 (エージェント) : 予測 → 入力設計 → 入力 → システム → 出力 → フィードバック

制御系 (全体) : 連携

[4] E. Camponogara, D. Jia, B.H. Krogh and S. Blikidar, "Distributed Model Predictive Control," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 22, pp. 44-52, Feb. 2002

Osaka University

DMPC の VNE への適用

- 2 種類のエージェントで管理
 - 物理ネットワーク管理エージェント (PNA)
 - 仮想ネットワーク制御エージェント (VNA)

- 時刻 t に VN を收容したい
- VN 埋め込み要求
- $F_1(1), \dots, F_2(H)$ の通知
- VN1 の各時刻 ($1 \leq t \leq H$) の仮想資源の需要を予測
- $R(1), \dots, R(H)$ をもとに、VN 1 の收容位置 $F_1(1), \dots, F_1(H)$ を計算
- $F_1(1), \dots, F_1(H)$ を PN に反映
- $F_1(1), \dots, F_1(H)$ を保持

PNA を介した連携方式を提案

Osaka University

VNE-DMPC における制御目標

- 各時刻 t で使用する計算処理ノード数 $\xi(t)$ の最小化
- 分散型制御手法へ適用した際の問題点
 - VNA はそれぞれ独立して VN の收容位置を計算
 - VNA は当該 VN のみを物理ノードへ集約させようとする

利用ノード数が少なくならない可能性

VNE - MPC vs VNE - DMPC

計算処理ノード数の最小化 → 分散型制御のための代替案 → 物理資源利用コストの最小化

Osaka University

物理資源利用コスト最小化による集約の実現

物理ノードを利用にかかるコスト = 当該物理ノードの空き資源量

空き資源が大きい物理ノードの利用を抑制

選択肢 1: 物理資源利用コスト $2 + 3 + 3 = 8$

選択肢 2: 物理資源利用コスト $2 + 1 = 3$

Osaka University

VNE-DMPC の最適化問題

M_n^{Node} : 仮想ノードが收容された物理ノード
 C_n^r : 物理ノードを利用するためのコスト
 j : VNA が管理する仮想ネットワーク番号

VNA は最適化問題によって收容位置を決定

$$\text{minimize } (1-w) \sum_{0 < t \leq H} \sum_{n \in \mathcal{N}^V} M_n^{Node}(t) C_n^r(t) + w \sum_{0 < t \leq H} \sum_{n \in \mathcal{N}^V} \sum_{v \in \mathcal{V}^V, r} |M_{j,v,n}^{Node}(t) - M_{j,v,n}^{Node}(t-1)|$$

物理ノード利用にかかるコスト

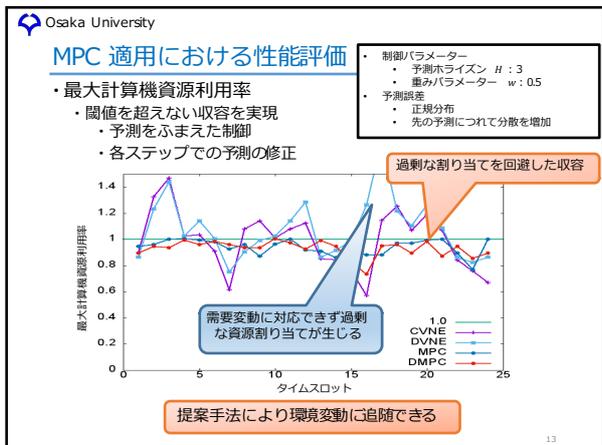
動作: VNA (需要予測 → 收容位置計算 → 收容位置通知) ↔ PNA (收容位置変更 → NW 情報通知) ↔ VNA

環境変動に追随可能な制御手法の実現

Osaka University

シミュレーション評価

- 評価環境
 - 物理ネットワーク環境
 - ノード数 9 の Internet2
 - 仮想ネットワーク環境
 - ノード数 5~9 をランダム生成
 - 收容 VN 数: 3
 - 仮想資源の需要変動
 - 疑似乱数に周期関数を適用
 - 周期: 24 タイムスロット
- 比較手法
 - 観測需要にもとづく仮想ネットワーク埋め込み手法
 - 集中型制御 VNE (CVNE)
 - 分散型制御 VNE (DVNE)
 - 需要予測にもとづく仮想ネットワーク埋め込み手法
 - VNE-MPC (MPC)
 - VNE-DMPC (DMPC)



Osaka University

DMPC 適用におけるスケーラビリティ評価

- 1回の埋め込み制御に要する平均計算時間 [秒]
- エージェントは 10 ステップの埋め込み制御を実行

収容 VN 数	DMPC 手法	MPC 手法
10	0.018	0.139
20	0.018	0.264
30	0.098	353.383
40	0.088	-
60	0.089	-
80	0.061	-
100	0.060	-

大幅な計算時間の短縮を実現

提案手法によりスケーラビリティを確保できる

2015/7/16 14

- Osaka University
- ### まとめと今後の課題
- まとめ
 - MPC を VNE に適用することで環境変動に追従可能な VNE 手法を実現
 - フィードバックによる定期的な予測の修正
 - 予測誤差による過度な収容位置変更の回避
 - DMPC を VNE に適用することで、環境変動に追従可能、かつスケーラビリティを有する VNE 手法を実現
 - 収容 VN 数 N 、各VNの仮想ノード数 m における 収容位置の候補数
 - MPC にもとづく VNE 手法: $O(2^{Nm})$
 - DMPC にもとづく VNE 手法: $O(2^m)$
 - 今後の課題
 - 実際の需要の予測方法と組み合わせた評価
 - 物理ネットワーク管理者が複数存在する状況への応用
- 2015/7/16 15