

日和見主義的なモバイルネットワークにおけるキャッシュ・データの鮮度維持手法の検討

A Note on the Maintenance Technique for Cache Freshness in Opportunistic Mobile Networks

六川 恵* 福本 聡* 新井 雅之† 酒井 和哉*
 Megumi Rokukawa Satoshi Fukumoto Masayuki Arai Kazuyuki Sakai

1. はじめに

“日和見主義的な”モバイルネットワークとは、多数の携帯通信端末が相互に接続することで一つのネットワークを構成するものである。それは、エンド・ツー・エンドの通信リンクを維持することが構造的に難しく、断続的にしか機能することができない。そこで、効率的なデータ・アクセスを提供するために協調キャッシングが利用される。しかしソースとなるメディアの内容が更新されると、ネットワークで蓄えられたデータは古くなり、利用できなくなる可能性が高まる。そのためにキャッシュされたデータを効率的に更新する方法について、いくつか研究が行われている。

本研究では、特にキャッシュ・データの鮮度の維持を目的とした Gao らの研究 [1] に着目する。ここでは、それを改良するための新たな手法を検討し、シミュレーションによって有効性を評価する。

2. 基本構造

Gao らの手法の基本的なアイデアは、データ・アクセスにおけるキャッシングノードを用いた木構造を組織し、上位ノードに特定の下位ノードを更新する役割をもたせるというものである。本研究でいうノードとは主に携帯通信端末やネットワークングデバイスを指す。データを要求するノードが目的データを保持するノードと接触すると、データは要求ノードへ複製される。そのときデータを与えたノードを親ノード、受け取ったノードをその親に対する子ノードとする。このようにネットワーク内でデータがそのデータを要求するノードへ広められ、これらのノードは、図1のような“データアクセス木 (Data Access Tree, DAT)”をつくる。親ノードは子ノードのバージョン情報や接触時間の情報を保持し、計画的に子ノードを更新する役割をもつ。一方、子ノードは自身の親ノードの情報をもたない。

3. キャッシュデータの更新手法

キャッシュ・データの鮮度の維持を目的とした場合、どのノードのデータのバージョンもできるだけソース・データのそれに近いことが望ましい。キャッシュ・データの

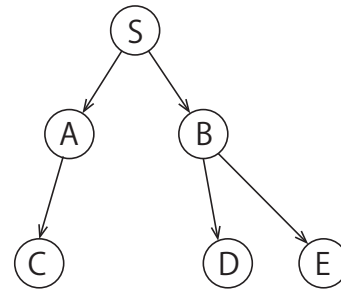


図1: データアクセス木. (Data Access Tree, DAT.)

鮮度に対して求められる条件を効率的に満たすために、データを更新する際、確率モデルに基づいて計算される有用性の尺度を利用している。その基となる鮮度条件の確率モデルは次のように表される。

$$Pr\{v_j^t \geq v_S^{t-\Delta}\} \geq p. \quad (1)$$

$v_S^{t-\Delta}$ は時刻 $t - \Delta$ におけるソース・データのバージョン、 v_j^t は時刻 t におけるノード j のバージョンである。バージョン番号は0で初期化され、ソースで更新されるごとに1増加する。 p はデータに対するユーザの関心に基づいて設定される。

キャッシュ・データの更新手法は、ノードが接触したノードのキャッシュ・データについての知識があるかどうかによって次の2つに分けられる。

3.1 計画的更新

計画的更新は、親ノードが自身の子ノードと接触した際におこる更新である。よってノードは更新対象のノードが保持するキャッシュ・データのバージョンについての知識があるため、ウェブ・キャッシングでも利用されているデルタ・エンコーディングという技術を取り入れる。

バージョン j のデータ d_j を持つ親ノードが、バージョン i のデータをもつ子ノードに対して更新を実行するとき、計画的更新では d_i と d_j のデータの差分を計算し、作成したアップデート u_{ij} によってキャッシュ・データを d_i から d_j へ更新する。この u_{ij} は i, j の二つのバージョンが完全に対応している場合にしか使えない。例えば、 u_{14} によって d_3 を d_4 へ更新することはできない。

*首都大学東京 システムデザイン学部, Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University

†日本大学 生産工学部, College of Industrial Technology Nihon University

3.2 日和見主義的更新

日和見主義的更新は、接触したどのノードに対しても、自身より古いバージョンのデータをもっていた場合に用いられる。しかし計画的更新と異なり更新対象ノードのバージョン情報をもたないため、完全なデータの複製を行わなければならない。完全なデータの複製はデルタ・エンコーディングによるアップデートに比べて更新にかかるコストが非常に大きい。そのため、ネットワーク資源の能率の低下を避けることが重要となる。

日和見主義的な更新では、計画的更新で蓄えられた情報のデータとのバージョン矛盾のために、キャッシュの鮮度を維持する上で若干の副作用がおり得る。図 2 において A が日和見主義的にノードの D に接触して、 d_1 から d_3 へ D のキャッシュ・データを更新するとき、より新しいバージョン d_4 を B が保持していることを知らない。一方、B は D のキャッシュ・データ d_1 を知っていて、D のためにアップデート u_{14} を準備する。この結果を受けて、B が後で D に接触するとき、 u_{14} では d_3 を d_4 へを更新することができない。この副作用を回避する方法の一つとして、本研究では次の手法を提案する。

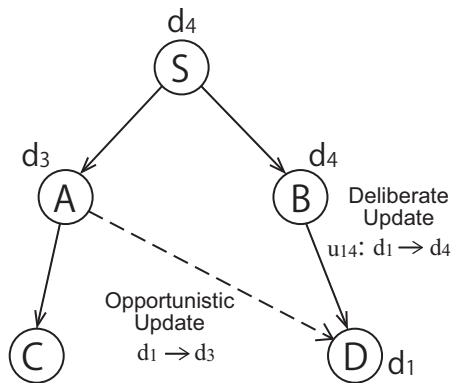


図 2: 日和見主義的更新による副作用. (A side effect by opportunistic updates.)

3.3 提案手法

図 2 の例のような副作用は、B が A よりも新しいバージョンをもっていた場合に問題視される。副作用を抑止するためには、B が A よりも新しいバージョンを持っている可能性を推定することができれば良い。

そこで本研究では、図 3 のように、同じ階層に位置するノードに対して自身の子ノードと同等の扱いをするよう設定する。つまり、A が B に接触したとき B のバージョン情報や接触頻度の情報を取得し保持する。B から A に対しても同様である。A が B の情報を保持することで、A が D に接触したとき、B が A よりも新しいバージョンをもっている可能性を推定することが容易になる。

よってこの提案手法では、日和見主義的更新において更新対象ノードの親ノードが自身と同じ階層に位置していた場合、通常の日和見主義的更新における有用性に副作用がおこる可能性を加味した値が、その更新に対する有用性の尺度として利用される。副作用の起こる可能性が高ければ、その場で日和見主義的更新は行わず、更新対象ノードの親ノードによる計画的更新を促すかたちになる。これにより日和見主義的更新で余分にかかるコストを減らすことが期待できる。

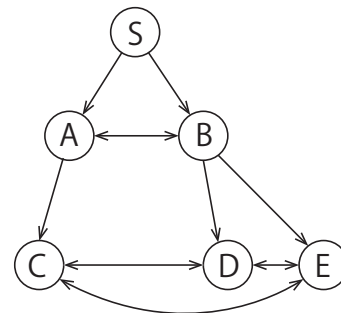


図 3: 提案手法導入後の DAT. (DAT by proposal scheme.)

4. シミュレーションによる評価

シミュレーションにより提案手法の有効性の評価をおこなった。シミュレーションは文献 [1] と同様の条件で実施し、**Refreshing Ratio**: 期限切れになる前にノードに送られたデータの割合、**Refreshing Delay**: ソースからノードへ送られる更新情報の平均遅延、**Refreshing overhead**: データ更新情報が送られる平均回数、の三つの尺度について評価した。

データのライフタイム L を 1 から 10 まで変化させたときに、各尺度へどのような影響があるかを評価した。その結果、Refreshing Delay や Refreshing overhead とのトレードオフによって、 $L = 7$ 以上では、Refreshing Ratio について提案手法がオリジナル手法を上回るなどの結果を得た。詳細は紙面の都合で省略する。

5. むすび

本研究では、日和見主義的なネットワークにおけるキャッシュ鮮度の維持手法を改善する手法を提案し、シミュレーションによって評価した。

参考文献

- [1] W. Gao, G. Cao, M. Srivatsa and A. Iyengar, "Distributed Maintenance of Cache Freshness in Opportunistic Mobile Networks" *In Proceeding of the 32nd IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.132-141, 2012.