

エリア属性を用いたサーバ負荷分散の考察

松本直人¹ 大西亮吉¹ 阿部博¹

概要：近年、携帯電話網を通じたデバイスの常時接続が増加している。しかし携帯電話網では、デバイス通信に用いる IP アドレスを地域毎に細かく管理していない。このため全国に展開する大量のデバイスがサーバ接続した時、一般的なサーバ負荷分散処理を経由すると、多数のサーバに地域毎のデータが分散してしまう問題がある。本稿ではデバイス通信時のサーバリクエストにエリア属性を付与することにより、地域に閉じたデータ処理へ集約する仕組みについて考察する。

キーワード：サーバ負荷分散、携帯電話網、エリア属性

1. はじめに

携帯電話網を通じたデバイス接続は増加を続けている。日本全国における LTE/4G などの無線基地局数は、合計で 66 万局を超えており、人口カバー率は 99.7%に達している [1]。しかし携帯電話網では、デバイス通信に用いられる IP アドレスを地域毎に細かく管理していない。このため、全国に展開する大量のデバイスがサーバ接続した時、一般的なサーバ負荷分散処理を経由すると、多数のサーバに地域毎のデータが分散してしまう。本研究では、デバイス通信時のサーバへのリクエスト情報にエリア属性を付与することにより、地域に閉じたデータ処理へ集約する仕組みについて考察した。

2. 関連研究

3GPP [2]の仕様によれば 4G/LTE に分類される携帯電話網は、MCC (Mobile Country Code), MNC (Mobile Network Code), TAC (Tracking Area Code)と呼ばれる識別子によって、全世界の事業者・地域単位で管理されている。このうち TAC は、その国と地域にある携帯電話網の事業者が管理する無線基地局を円滑に運用するエリア属性として 16bit の数字が付与されている。TAC はデバイス通信に用いられる端末からモデムに対して、AT コマンド発行することで確認できる。TAC には GPS 使って取得できるような緯度経度を合わせた位置情報は含まれていない。

また地図を円滑に管理する仕組みとして Google Map[3] や Microsoft Bing Map[4]では、地図に Tile と呼ばれる単位に数字を付与して管理されている。Tile は数桁から数千桁の整数で管理されており、緯度経度の位置情報から計算式によって変換できる特徴を持っている。また Tile は Zoom と呼ばれるエリアの大きさによって粒度が変化する[5]。

さらに日本国内では、道路法により高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道が定められており、数百桁の数字と属性情報で管理されている。一般財団法人日本デジタル道路地図協会のデジタル道路地図データベース [6] では、日本国内の全道路 100 万 km がリンクと呼ばれる単位で管理されており、そのリンク数は約 596 万本となっている。これらのリンク情報は自動車に搭載されるナビゲーションシステムでも使われている。このようにデバイス通信時、サーバリクエストにエリア属性として付可能な地域を判別するための情報は、いくつか存在している。(図 1)

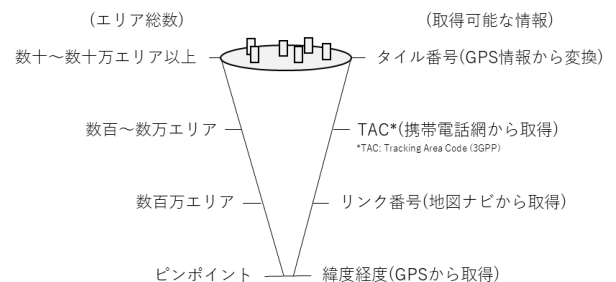


図 1 デバイス通信時におけるエリア属性
Figure 1 Area attributes during device communication.

全国に展開するデバイス通信をある一定の地域単位で区切りデータ処理したい時、GPS の位置情報、携帯電話網の TAC の情報、地図ナビゲーションシステムのリンク情報を活用すれば、数十から数百万単位の粒度で分割した、地域に閉じたデータ処理が可能となる。

¹ トヨタ自動車株式会社
Toyota Motor Corporation.

3. エリア属性とサーバリクエストの偏り

つぎにデバイス通信時、地域に閉じたデータ処理へ集約する場合のサーバリクエストの偏りについて考察した。ここでは全世界の携帯電話網に存在する無線基地局情報を収集公開する OpenCellID[7]を使用している。OpenCellIDの情報によれば、日本国内の携帯電話網で事業者により割当利用される TAC は数千件程度しかなく、16bit の整数で管理された総数である 6 万 5 千件には遠く達していない。OpenCellID が収集する情報は、世界中のボランティアによって収集されたものであるため、あくまで推定の域を出ないが、仮に地域に閉じたデータ処理を行うため、TAC のエリア総数と同じだけのインスタンスをサーバクラスタ中に用意しても、その中で活用されないインスタンスが発生する可能性がある。(図 2)

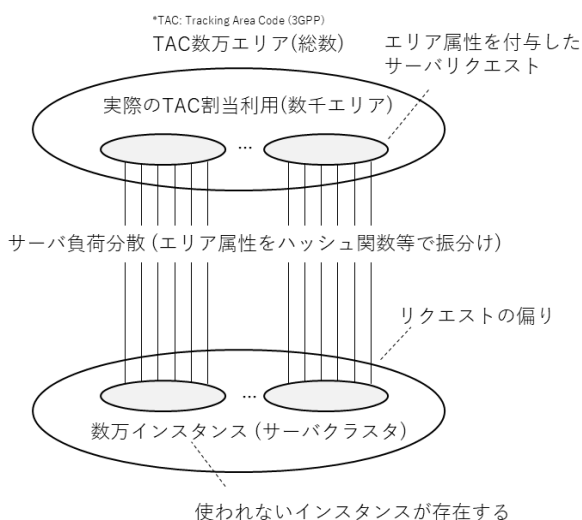


図 2 エリア属性とサーバリクエストの偏り
Figure 2 Area attributes and server request bias.

この問題は、GPS の位置情報や GPS の位置情報を元に計算式で変換される Tile でも同様に起こりえる。具体的には、海上や山間部等、携帯電話網への通信発生しえない地域では、エリア属性を付与したサーバリクエストが発生しないから、想定されたエリア属性の総数と同数のサーバクラスタのインスタンスを用意しても、TAC の場合と同じく活用されないインスタンスが発生する。同じく高速自動車国道、一般国道等の情報を、エリア属性としてサーバリクエストに付与した場合も同様だ。日本国内の国道には歴史的な経緯から番号が連続しておらず欠番が発生している。このため欠番となった道路の情報をエリア属性とするサーバリクエスト自体が発生しない。このように、地域に閉じた

データ処理を行う場合、エリア属性として用いる基礎情報の中に欠番が存在する点に十分な理解が必要だ。(図 3)

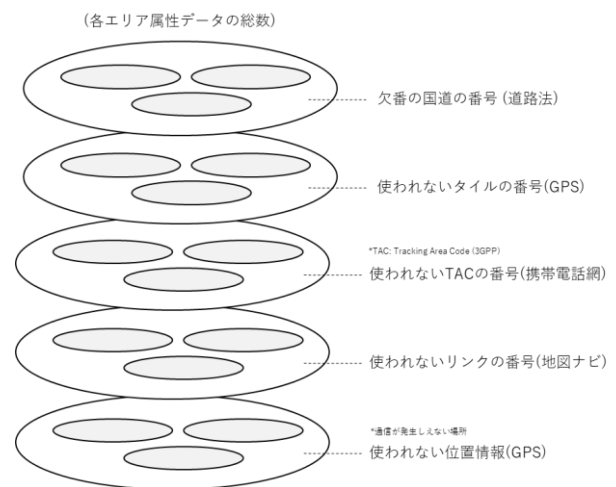


図 3 エリア属性データが持つ特徴
Figure 3 Features of area attributes.

また実際のデバイス通信における地域毎での発生量にも注意が必要だ。日本の人口は首都圏など大都市圏に集中しており、今後増加の一途を辿であろうデバイス通信に関しても、同様な地域で利用されることが考えられ、地域に閉じたデータ処理を集約した場合でも、エリア毎でサーバリクエストの偏りが見られることが考えられる。(図 4)

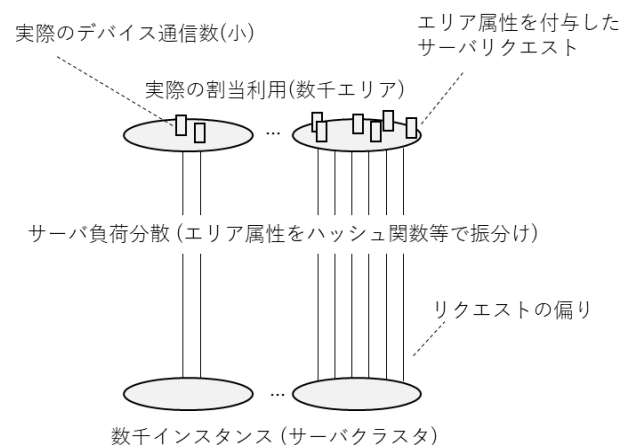


図 4 エリア毎でのサーバリクエストの偏り
Figure 4 Server requests bias by area.

このためエリア毎で発生するサーバリクエストの偏りを是正するには、サーバ負荷分散の処理にも工夫が必要となる。図5は、サーバリクエストをエリア属性により地域毎に分割した後、その地域で発生しえるアクセス集中をさらにサーバクラスタ中の複数インスタンスへ振り分けするサーバ負荷分散の処理を示している。

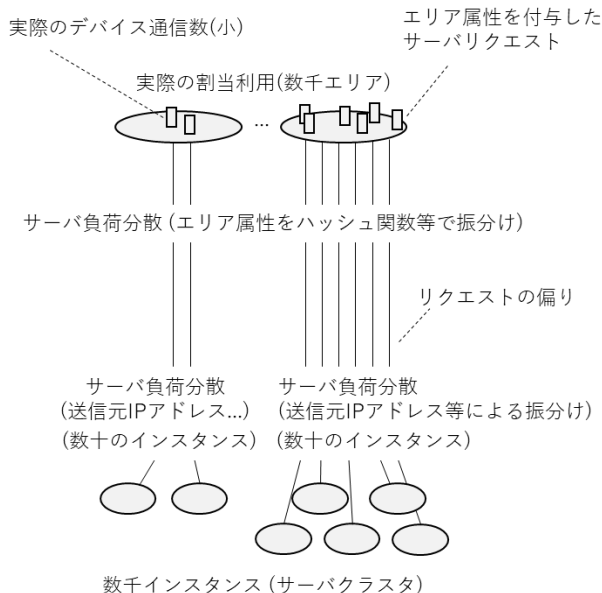


図5 サーバ負荷分散の多段化
Figure 5 Multi-stage server load balancing.

このようなサーバ負荷分散を何段階かで処理することで、地域に閉じたデータ処理を任意に選択されたサーバクラスタ中のインスタンスへ集約していくことが可能となる。エリア属性とサーバリクエストの偏りを整理すると図6のようになる。

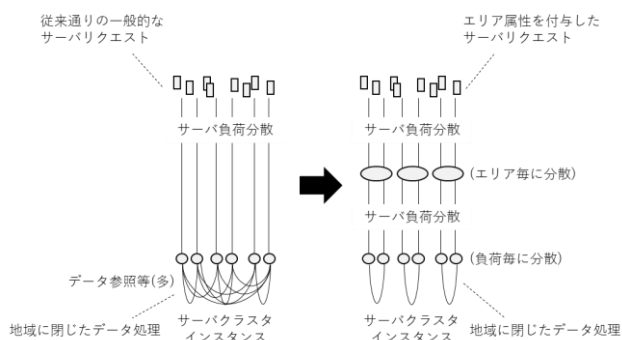


図6 地域に閉じたデータ処理
Figure 6 Area data processing

4. 実験とデザインパターンの評価

つぎに地域に閉じたデータ処理を実現する具体的なシステム設計とそのデザインパターンの評価を、サーバ負荷分散に用いられるハッシュ関数を用いた実験をふまえて行った。

4.1 ハッシュ関数を用いた実験

サーバ負荷分散は、さまざまな振り分けアルゴリズムが用いられる。今回は John Lamping, Eric Veach ら提唱するコンシステントハッシュ法[8]を用いてサーバ負荷分散の振る舞いを想定した実験を行った。具体的には、Python で実装されていたコンシステントハッシュ法であるの一つである Jump Consistent Hash[9]を用いて、OpenCellID の中から日本国内の携帯電話網を示す事業者コード MCC 440, MNC 10 に該当する TAC を収集し、そのリストに対する変換後のハッシュ値を集計した。(図7)

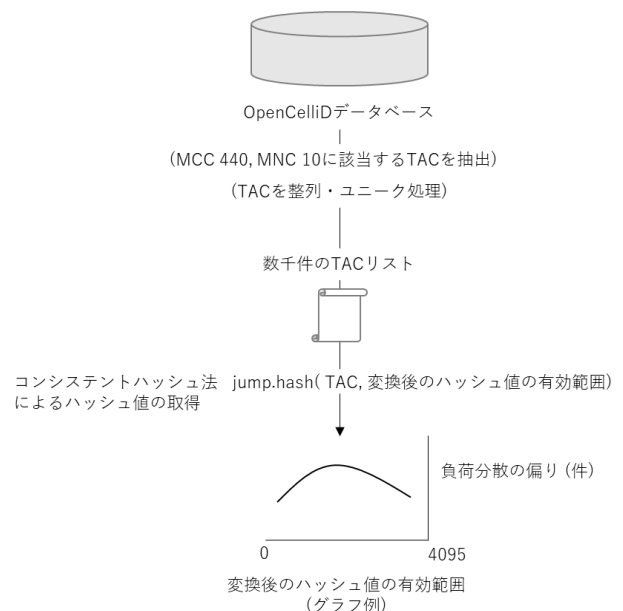


図7 コンシステントハッシュ法を用いた実験
Figure 7 Experiments using Consistent hashing

TACは、携帯電話網の各事業者が地域に点在する無線基地局を円滑に運用するために任意に設定された番号であるが、16bitの整数で表される総数の6万5千件のすべてが割り当てられているわけでない。そのためTACをシードとしてコンシステントハッシュ法を用いてハッシュ値を取得した場合、その結果に偏りが発生する。この実験でコンシステントハッシュ法を用いてハッシュ値を求めた時、変換後のハッシュ値の有効範囲を変化させた場合、どのような偏りが発生するのかを確認した。

図 8 は、OpenCellID の中から日本国内の携帯電話網を示す事業者コード MCC 440, MNC 10 に該当する TAC を収集し、コンシステントハッシュ法のひとつである Jump Consistent Hash によりハッシュ値を求め、その結果をヒストグラム表示したものである。この際、変換後のハッシュ値に歯抜けとなる欠番が発生しない条件まで、変換後のハッシュ値の有効範囲を変化させて実験を行った。

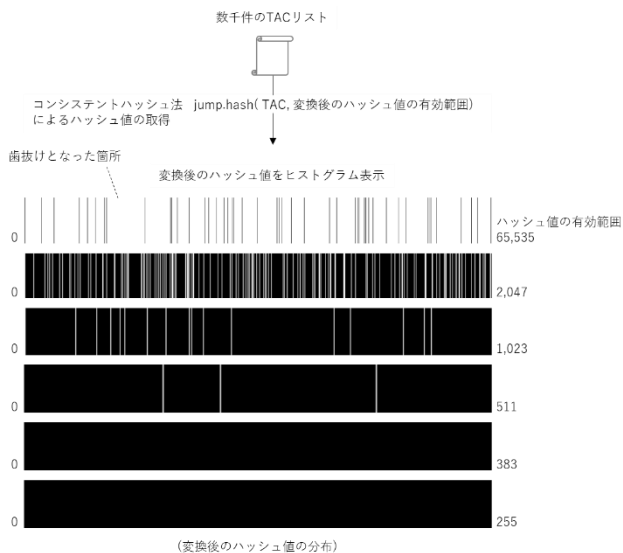


図 8 ハッシュ値のヒストグラム表示
Figure 8 Hash values (histogram).

変換後のハッシュ値に歯抜けとなる欠番が発生することは、サーバ負荷分散に適応した場合、有効に活用されないインスタンスが発生することを示している。一般的にクラウドコンピューティング中の計算機資源は、無限に存在しない。そのため、用いようとするエリア属性のデータ特性にあわせて変換後のハッシュ値の有効範囲の工夫などが必要となるだろう。(図 9)

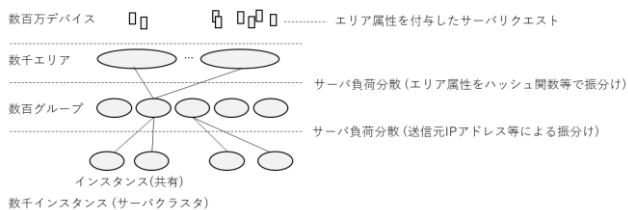
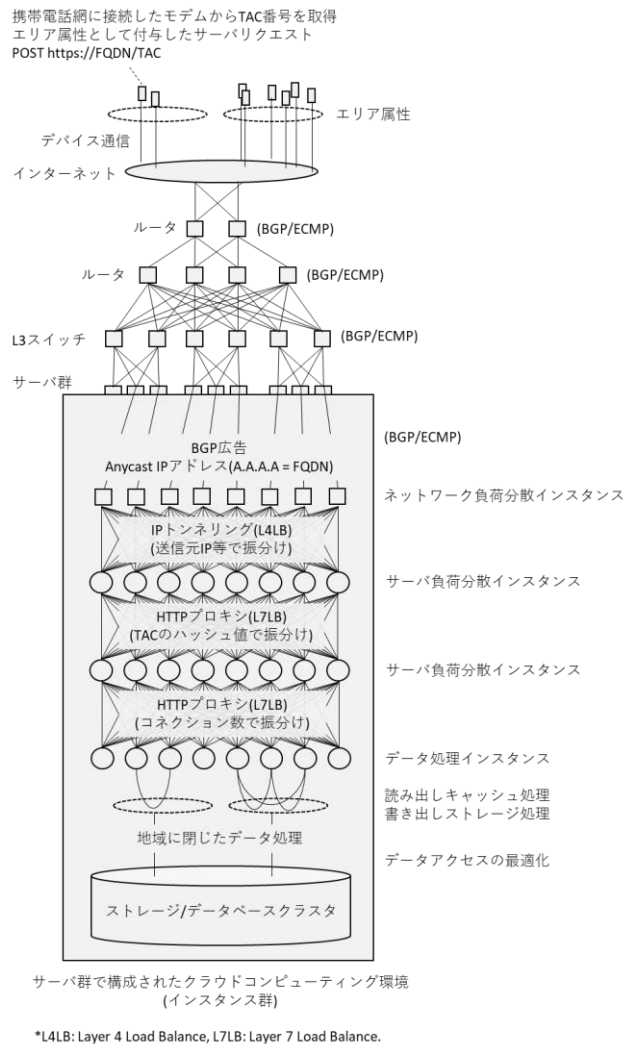


図 9 サーバ負荷分散のデータパス
Figure 9 Data Path for Server Load Balancing.

4.2 デザインパターンの評価

つぎに実験をふまえて、地域に閉じたデータ処理について、実現性を評価した。今回は、デバイス通信に HTTPS を使い、サーバリクエストの URL 中に携帯電話網に接続したモデムから得られた TAC を、エリア属性として付与した例をもとに評価した。(図 10)



サーバ群で構成されたクラウドコンピューティング環境 (インスタンス群)

*L4LB: Layer 4 Load Balance, L7LB: Layer 7 Load Balance.

図 10 エリア属性によるサーバ負荷分散
Figure 10 Server Load Balancing with Area Attributes.

本件評価では、一般的なクラウドコンピューティング環境に、ネットワーク負荷分散インスタンスに Katran[10]、サーバ負荷分散インスタンスに Nginx[11]などのオープンソース・ソフトウェアを組み合わせることで実現している。具体的なサーバ負荷分散処理は、HTTP プロキシを用いてサーバリクエスト中の URL に含まれる TAC をシードとしたコンシステントハッシュ法によるハッシュ値を求め、その後の後段の HTTP プロキシへ転送する処理を行っている。

4.3 耐障害性の評価

さらにデザインパターンで実現性が示されたシステム構成に対して、その耐障害性を評価した。この際、ルータ、L3スイッチ、サーバ、ネットワーク負荷分散インスタンスまでネットワーク経路は、BGP/ECMP(Equal Cost MultiPath)により冗長化されているものとする。また同じく、ネットワーク負荷分散インスタンス、サーバ負荷分散インスタンスは、振分け先インスタンスのヘルスチェックを機能させることで冗長化されているものとする。図 11 で示されるとおり、システムを構成する複数要素で、同時にシステム障害が発生しても、全体が良好に機能していることがわかる。

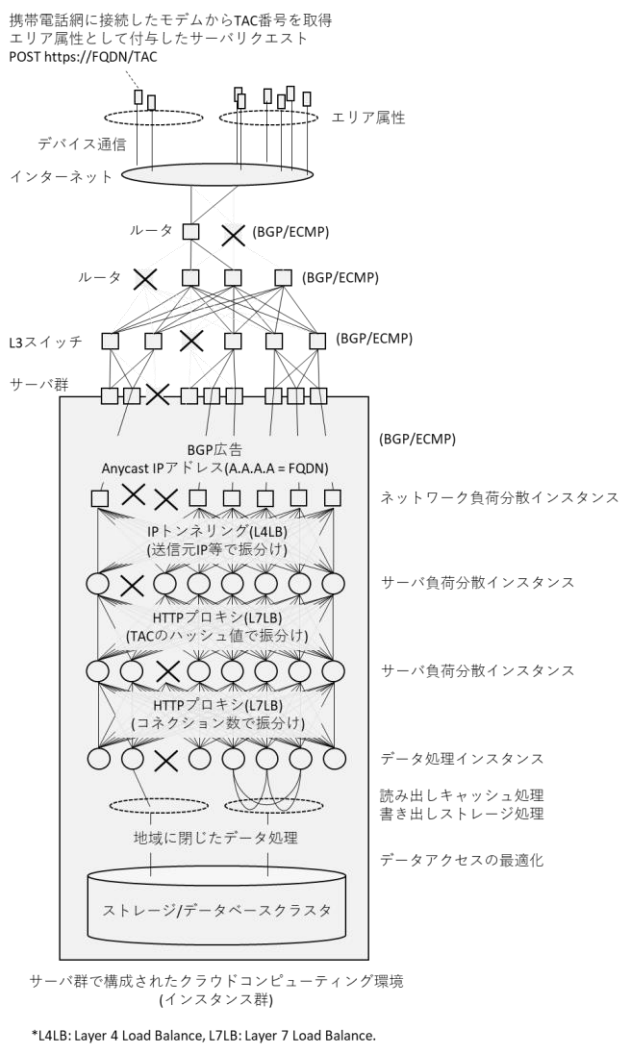


図 11 システム耐障害性の評価

Figure 11 Evaluation of System Resilience.

地域に閉じたデータ処理を、本件デザインパターンで実現しても、その耐障害性が損なわれないことが評価できた。

4.4 設備増強とサービス継続性の評価

最後に、デザインパターンで示されたシステム構成が、段階的にシステムとして成長していった場合の、設備増強とサービス継続性について評価した。耐障害性の評価で示されたとおり、本件デザインパターンでは、システムに強固な冗長化が施されている。また一般的にインスタンスの柔軟な増強を可能とするクラウドコンピューティング環境を前提とすることで、小規模から大規模までシステムを継続的に成長させることができる。(図 12)

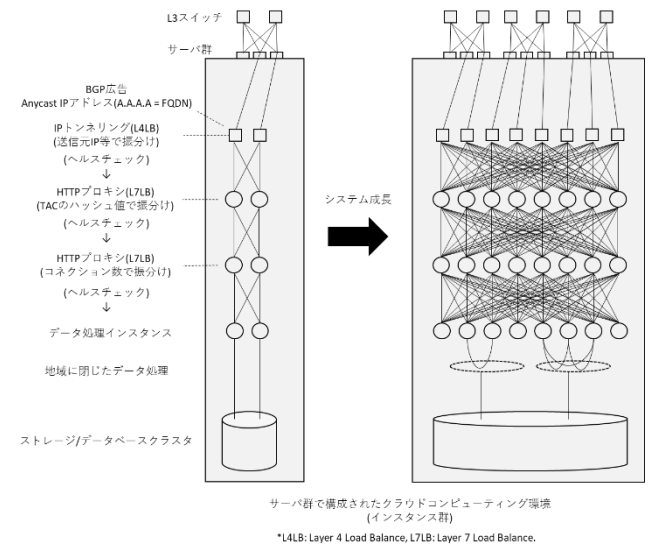


図 12 継続的なシステム増強

Figure 12 Seamless system deployment.

またシステムが小規模から大規模に成長する際に陥りやすいストレージ/データベースクラスタへの負荷集中についても、地域に閉じたデータ処理を行うことで、データアクセスの最適化が図られることから、無尽蔵な増強を抑止することが期待できる。(図 13)

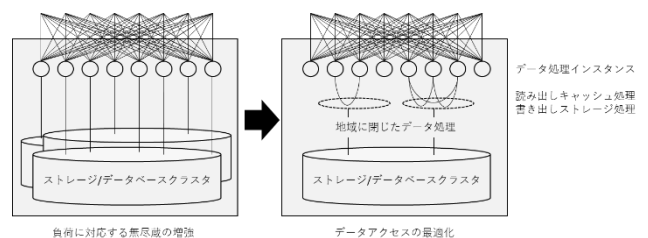


図 12 データアクセスの最適化

Figure 12 Data access Optimization.

5. おわりに

本研究では、携帯電話網を通じて行われるデバイス通信に対して、サーバリクエストにエリア属性を付与することで、地域に閉じたデータ処理を実現する仕組みについて考察した。エリア属性として、GPS の位置情報、携帯電話網の構成情報、道路情報などを用いた時、サーバ負荷分散に用いられるハッシュ値の取り扱いに留意が必要であるが、概ね良好に機能することが評価できた。稼働中のシステムが大きく成長した時に発生する、ストレージやデータベースへの負荷集中とその対策とデータアクセス最適化についても良好な機能が期待できる。本稿では、携帯電話網の構成情報と HTTP におけるサーバ負荷分散についてのみ評価したが、これを参考として、多くの新たな取り組みが研究されること期待したい。

参考文献

- [1] 総務省, 令和元年度携帯電話及び全国 BWA に係る電波の利用状況調査の評価結果の概要 (案).
https://www.soumu.go.jp/main_content/000654166.pdf,
- [2] The 3rd Generation Partnership Project (3GPP).
<https://www.3gpp.org/>
- [3] Google Maps. <https://www.google.com/maps/>
- [4] Microsoft Bing Maps. <https://www.bing.com/maps/>
- [5] Microsoft, Bing Maps Tile System. <https://docs.microsoft.com/en-us/bingmaps/articles/bing-maps-tile-system>
- [6] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会, デジタル道路地図データベース. <https://www.drm.jp/database/structure/>
- [7] Unwired Labs, OpenCellID. <https://www.opencellid.org/>
- [8] A Fast, Minimal Memory, Consistent Hash Algorithm, John Lamping, Eric Veach, Google.
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.2294.pdf>
- [9] Jump Consistent Hash. <https://pypi.org/project/jump-consistent-hash/>
- [10] Facebook, katra. <https://engineering.fb.com/open-source/open-sourcing-katra-a-scalable-network-load-balancer/>
- [11] Nginx. <https://nginx.org/>