

# 複数の異なる時間間隔に基づく 構造化オーバーレイネットワーク構築手法の検討 Study of a Construction Technique for Structured Overlay Networks Based on Multiple Different Time Intervals

川上 朋也†  
Tomoya Kawakami

## 1. はじめに

2020 年には 530 億個の IoT (Internet of Things, モノのインターネット) デバイスの存在が予想され、それら IoT デバイスによって発信されるデータも膨大な量となる[1]。このとき、発信されるデータの一例として、温度や消費電力量などのセンサモジュールを用いて測定されたセンサデータが考えられる。センサデータは測定された地点や範囲、日時の情報に深く結びついた空間的かつ時間的なデータで、利用者やシステムはそれらの情報に基づいてセンサデータの検索や利活用を行う。そのため、膨大な量のデバイス(ノード)やデータ、利用者を扱うために高いスケーラビリティを維持しつつ、要求されたデータを効率的に検索可能な仕組みが求められる。

高いスケーラビリティの実現手法として現在、分散ハッシュテーブル (distributed hash table, DHT) や地理的な情報に基づくオーバーレイネットワークなどの構築手法が提案されている[2-8]。これらオーバーレイネットワーク構築手法は各ノードの一次元の ID や多次元の情報に基づいてノード間に論理ネットワークを構築する。ノードの探索はキー (key) と呼ぶ値や範囲を指定することで行い、論理ネットワークを表す各ノードのルーティングテーブルを参照することで、該当するノードへ到達するようにクエリを転送する。既存のオーバーレイネットワーク構築手法では一次元の時間情報や二次元の位置情報に基づいてノード間に論理ネットワークを構築し、さらに各ノードに特定の範囲を割り当てることで、センサデータの分散管理や検索を実現できる。一方、「過去の 8 月の気温を知りたい」「過去の日曜日の消費電力量のみ表示する」など、利用者やシステムは特定の時間的な間隔を指定してセンサデータを要求することが考えられる。また、指定される間隔も年や月、週、日、時間などの複数が考えられるが、既存のオーバーレイネットワーク構築手法ではこれらの複数の時間間隔に基づく検索を効率的に行えない。

そこで本研究では、年や月、週、月、時間など、特定の複数の時間間隔に基づくクエリを効率的に処理可能なオーバーレイネットワーク構築手法を検討する。検討手法では既存の Chord[2]と同様の環状のオーバーレイネットワークを想定し、一次元の時間情報に基づいてキー空間上にノードを配置する。また、年、月、週、日、時間の間隔に基づくクエリを効率的に処理するため、各ノードはキー空間上のそれらの間隔で他ノードへの仮想リンクを構築する。それら複数の間隔で構築した仮想リンクを用いることで、検討手法は要求データの担当ノードまでクエリを転送する際のホップ数を削減できる。

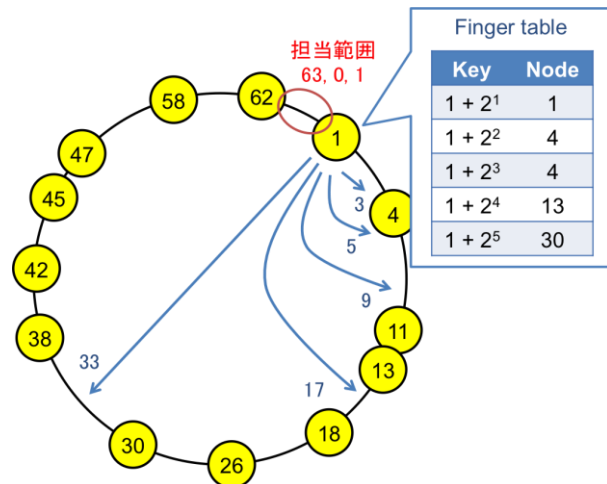


図 1 : finger table の例

## 2. Chord

Chord[2]は代表的な環状のオーバーレイネットワークで、各ノードの ID などに基づいて一次元のキー空間上にノードを配置する。キーの長さ (ビット数) はノード数を想定してあらかじめ与え、両端を結んで環状とする。Chord では特定のノードからキー空間上で時計回りに次のノードを successor, 反時計回りに次のノードを predecessor と呼び、各ノードは自身の successor と predecessor へのリンクをそれぞれ保持する。また、各ノードは predecessor から自身までの部分的なキー空間を担当し、その範囲に関するデータや情報を保持する。さらに、Chord ではノード探索におけるホップ数を削減するため、各ノードは finger table と呼ぶショートカットリンクも保持する。キー空間の長さが  $m$  ビットかつ各ノードの配置されたキーが重複しない場合、各ノードは  $2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^{m-1}$  ビット先のキーを担当するノードへのリンクを finger table としてそれぞれ保持する ( $2^0$  ビット先のキーの担当は successor)。finger table の例を図 1 に示す。図 1 ではキー空間の長さは  $2^6$  ビット (0~63) で、数字の書かれた円はノードとキーを、矢印や数字、右上の表はキー 1 のノードにおける finger table の仮想リンクや対象のキー、宛て先ノードを表している。また、図 1 ではキー 1 のノードの predecessor はキー 62 のノードのため、キー 1 の担当範囲はキー 63, 0, 1 となる。Chord では finger table により、各ノードのルーティングテーブルの大きさを最大で  $m+1$  に抑えつつ、 $N$  をノード数とした場合の任意のキーに基づくノード探索で  $O(\log N)$  のホップ数を実現している。

Chord は各ノードの担当範囲とノード探索機能によって、データの分散管理にも用いることができる。また、文献[9]では空間充填曲線の Z-ordering を用いて二次元の位置情報を一次元のキーに変換し、二次元の範囲探索 (range query) にも対応している。一方、本研究で想定するセンサデータでは、「過去の 8 月の気温を知りたい」「過去の日曜日の消費電力量のみ表示する」など、利用者やシステムは特定の時間的な間隔を指定してセンサデータを要求することも考えられる。また、指定される間隔も年や月、週、日、時間などの複数が考えられるが、既存手法では単一のキー間隔のクエリやそれぞれ独立した多次元のクエリを効率的に処理するオーバーレイネットワークを構築できても、一次元かつ複数のキー間隔のクエリを効率的に処理できない。

### 3. 検討手法

#### 3.1 アイデア

本研究では、年や月、週、日、時間など、特定の複数の時間間隔に基づくクエリを効率的に処理可能なオーバーレイネットワーク構築手法を検討する。検討手法では既存の Chord[2]と同様の環状のオーバーレイネットワークを想定し、一次元の時間情報に基づいてキー空間上にノードを配置する。ここでの一次元の時間情報とは、協定世界時 (UTC) や UNIX 時刻のような基準時刻と年や月、週、日、時間、分、秒などの単位を示すキーのビット値、さらにキー空間の長さ (ビット長) で表されるものとする。このとき、既存の finger table ではビット長  $m$  として  $2^i$  ビット先 ( $i = 1, 2, \dots, m-1$ ) の担当ノードへのショートカットリンクを構築する。一方、検討手法ではキーが示す最小の時間単位をもとに、1 週間先や 1 か月先、1 年先など、実際に利用者から要求されそうな間隔で担当ノードへのショートカットリンクを構築する。さらに、同じ年の場合は 1 か月先、3 か月先、6 か月先、12 か月先 (1 年先) など、同じ時間基準内でもホップ数を削減できる宛て先ノードへも仮想リンクを構築する。本研究では年、月、週、日、時刻に関して考慮し、表 2 に示すショートカットリンクを構築するものとする。また、表 2 ではキーの値を時刻 (1 時間) としており、キー空間の長さを  $m$  ビットの年で表した場合の各リンク数も示している。なお、分や秒などの基準でも同様に設定できる。

#### 3.2 ショートカットリンクの構築

本節では 3.1 節で述べたアイデアに基づいて、各ノードにおけるショートカットリンクの構築について述べる。

検討手法におけるショートカットリンクの構築例を図 2 に示す。図 2 では 2001 年 1 月 1 日からの追加日数をキーとし、キー空間の長さは 64 日間 (2001 年 1 月 1 日~3 月 5 日) である。数字の書かれた円は図 1 と同様にノードとキー (日数) を、矢印や数字、右上の表はキー 1 のノードにおけるショートカットリンクの仮想リンクや対象のキー、宛て先ノードを表している。図 2 ではキーが日数で、キー空間の長さが 64 日間のため、表 1 に基づき、キー 1 のノードは以下の間隔を進んだキーの担当ノードへショートカットリンクを構築する。

- ・ 月 : 1 か月 (31 日)
- ・ 日 : 15 日, 7 日 (曜日), 3 日
- ・ 隣接 : successor (1 日), predecessor

表 1 : 構築ショートカットの種類と数

種類	対象キー (間隔)	数
年	$2^0$ 年, $2^1$ 年, $2^2$ 年, ..., $2^{m-1}$ 年	$m$
月	6 か月, 3 か月, 1 か月	3
日	15 日, 7 日 (曜日), 3 日, 1 日	4
時刻	12 時間, 6 時間, 3 時間, 1 時間	4
隣接	successor, predecessor	2

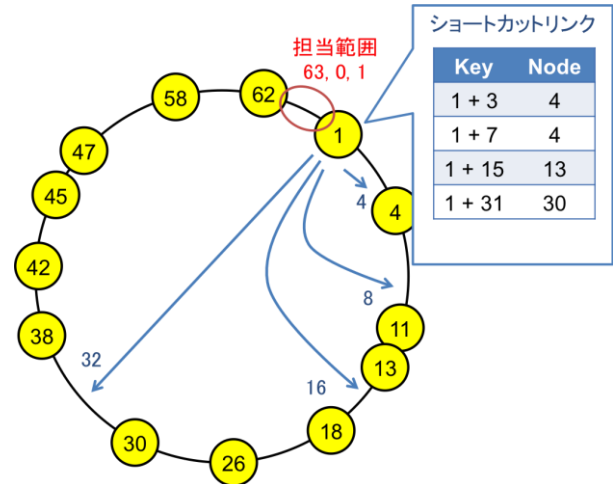


図 2 : ショートカットリンクの構築例

図 2 に示したショートカットリンクは図 1 の finger table と比べ、次の月の同じ日を担当するノードや次に同じ曜日を担当するノードへ仮想リンクを構築している。そのため、「特定の日から 1 か月間隔のデータを知りたい」「同じ曜日のデータを表示したい」など、実際に発生しそうな利用者からの要求に対して、該当する複数のノードへ少ないホップ数でクエリを転送できる。また、ルーティングテーブルのエントリ数はキーとする値やキー空間の長さに依存するが、図 2 ではショートカットリンクの数は 4 で、図 1 の finger table のエントリ数の 5 から減少している。

### 4. まとめ

本研究では、年や月、週、日、時間など、特定の複数の時間間隔に基づくクエリを効率的に処理可能なオーバーレイネットワーク構築手法を検討した。検討手法では既存の Chord[2]と同様の環状のオーバーレイネットワークを想定し、一次元の時間情報に基づいてキー空間上にノードを配置する。また、年、月、週、日、時間の間隔に基づくクエリを効率的に処理するため、各ノードはキー空間上のそれらの間隔で他ノードへの仮想リンクを構築する。それら複数の間隔で構築した仮想リンクを用いることで、検討手法は要求データの担当ノードまでクエリを転送する際のホップ数を削減できる。

今後の課題として、3 章で述べた検討手法のシミュレーションによる評価を予定している。シミュレーションではキーの値を日や時刻などに変えながら、検討手法により構築されるオーバーレイネットワークを Chord などと比較する。検討手法は年間隔や月間隔などのパターンのクエリを効率的に処理できるため、さまざまなクエリのパターンにおい

て、ノード探索時のホップ数やトラヒック（メッセージ数）を比較項目とする予定である。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16K16059, 17K00146 および公益財団法人放送文化基金の助成による成果である。

## 参考文献

- [1] 第 6 章 2030 年の未来像 - ICT が創る未来のまち・ひと・しごと, 平成 27 年版 情報通信白書 第 2 部, 総務省, pp. 326-334, 2015. <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/n6100000.pdf> (accessed July 1, 2018).
- [2] I. Stoica, R. Morris, D. L.-Nowell, D. R. Karger, M. F. Kaashoek, F. Dabek, H. Balakrishnan: Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Protocol for Internet Applications, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 11, No. 1, pp. 17-32 (2003).
- [3] E. K. Lua, J. Crowcroft, M. Pias: A Survey and Comparison of Peer-to-Peer Overlay Network Schemes, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 7, No. 2, pp. 72-93 (2005).
- [4] J. Aspnes, G. Shah: Skip Graphs, *ACM Transactions on Algorithms*, Vol. 3, No. 4(37), pp. 1-25 (2007).
- [5] A. Mondal, Y. Lifu, M. Kitsuregawa: P2PR-Tree: An R-Tree-Based Spatial Index for Peer-to-Peer Environments, *Proc. of the International Workshop on Peer-to-Peer Computing and Databases in Conjunction with the 9th International Conference on Extending Database Technology (EDBT 2004)*, pp. 516-525 (2004).
- [6] 金子 雄, 春本 要, 福村真哉, 下條真司, 西尾章治郎: ユビキタス環境における端末の位置情報に基づく P2P ネットワーク, *情報処理学会論文誌データベース*, Vol. 46, No. SIG18(TOD28), pp. 1-15 (2005).
- [7] 大西真晶, 源元佑太, 江口隆之, 加藤宏章, 西出 亮, 上島紳一: ノード位置を用いた P2P モデルのためのドロネー図の自律分散生成アルゴリズム, *情報処理学会論文誌データベース*, Vol. 47, No. SIG4(TOD29), pp. 51-64 (2006).
- [8] E. Tanin, A. Harwood, H. Samet: Using a Distributed Quadtree Index in Peer-to-Peer Networks, *The International Journal on Very Large Data Bases (VLDB)*, Vol. 16, No. 2, pp. 165-178 (2007).
- [9] S. Matsuura, K. Fujikawa, H. Sunahara: Mill: A Geographical Location Oriented Overlay Network Managing Data of Ubiquitous Sensors, *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E90-B, No. 10, pp. 2720-2728 (2007).