

第 XXI 部

Integrated Distributed Environment with Overlay Network

第 21 部

Integrated Distributed Environment with Overlay Network

本ドキュメントは、IDEON-WG の 2010 年活動報告である。

第 1 章 はじめに

IDEON は、Integrated Distributed Environment with Overlay Network の略である。名前が示すとおり、オーバーレイネットワークによる自律分散環境の研究を行っている。

研究が社会で役立つのは、それによるイノベーションが実際に起きるときである。オーバーレイネットワークは、基本的に、ネットワークを応用するためには必ず形成する必要があり、その研究開発が適用可能な領域は多岐に渡る。その中でも、最近の IDEON-WG の興味分野として大きいのは、地球規模 OS と呼ばれる、文明全体のための新しい情報基盤のデザインである。

この報告では、昨年に続き、地球環境が置かれている現状についてアップデートした上で、IDEON-WG メンバが 2010 年に発行したテクニカルレポートおよび論文について述べる。

第 2 章 地球環境が置かれている現状

昨年の報告書への記載内容からのアップデートを記す。

文明が利用可能なエネルギーについて考える上で、石油の枯渇ではなく、むしろピークオイル¹が重要であることは昨年述べたが、そのことに関し、今年は大きな進展があった。11 月 9 日、国際エネルギー機関 (IEA) が、在来型石油の生産量が 2006 年にピークを

迎えた可能性が高いと明らかにしたのである。この事態を受け、現行の技術によるエネルギーの代替を進めるとすれば、今世紀前半中にも、石油・石炭・ウラン等、すべての主要なエネルギー資源が生産ピークを迎えると見られる。その結果、現在の文明は私たちの多くが未だ現役であるうちに終了すると予測できる²。

だとすれば、次なる文明をどのようにデザインしていくか、そのための情報基盤はどう形成していくことができるか、といったことが、WIDE プロジェクトが次の 20 年間、最も世界に貢献できるテーマと言えるだろう。

次なる文明を、持続可能で長命なものにするためには、太陽からのエネルギー予算を人間の身の丈で利用し、自然に対する非暴力（できるだけ非破壊的・循環的な資源利用を図る）、不服従（技術によって自然に対して働きかけることにより問題を解決していく）を貫くしかない。鍵となるのは、一般に低エネルギー消費を維持することである。

このための資源の融通と調整は、計算機のオペレーティングシステムによる資源管理のアナロジーとして捉えることができ、特に分散システムの知見が活かされるところだと我々は考える。

第 3 章 自律分散環境の調査・研究

2010 年には、以下のテクニカルレポートおよび論文を発行した。

- 分散ハッシュテーブルの研究動向（2008–2009; 調査）
- NAT 問題フリーな DHT を実現するライブラリ libcage の設計と実装
- 細粒度商品トレーサビリティの表現モデル
- P2P パーター取引におけるリスクの役割について

1 世界の石油生産量がピークに達し、それ以降は減少傾向を続ける時点。

2 勿論、自然エネルギーの利用への転換を図れば石炭・ウラン等の生産ピークは後延ばしにできるかも知れないが、そのことがそもそも文明の転換を意味する。

3.1 分散ハッシュテーブルの研究動向 (2008–2009; 調査)

分散ハッシュテーブル (DHT: Distributed Hash Table) は、ネットワーク上に〈キー, 値〉ペアを格納し、キーから値を検索するサービスを提供する分散データ構造およびアルゴリズムの一種である。DHT は、ノードの識別子 (IP アドレス等) とキーをハッシュ関数 (典型的には暗号学的ハッシュ関数) を用いて同一の固定長ビット空間に配置し、当該空間上でキーに近接するノードに〈キー, 値〉ペアを格納するべく P2P オーバレイネットワークを構成する手法であると一般化できる。

この手法では、ノードとキーが空間上に均一に配置されると期待できることから、均質な負荷分散を実現可能である。また、冗長化やデータの輸送によりチャーン (churn; ノードの頻繁な出入り) に耐性を持てるように設計されるという特徴を持つ。ノード数 N の増加に対して、一般に検索性能を $O(\log N)$ にできることから、規模拡張性を持つ分散ストレージとしての応用が期待され、実際に数々の応用例がある。

第1世代の DHT としては、リング構造のオーバレイネットワークを利用した Chord[166]、プラクストン・メッシュ (Plaxton Mesh) 構造 [144] を利用した Tapestry[196] および Pastry[152]、高次元トラスを利用した CAN[148] (以上 2001 年)、ハッシュ値間の XOR を距離の尺度とした Kademlia[123] (2002 年) 等がある。

これらの DHT は、特に Chord、Pastry といったものを中心に、その後の分散アルゴリズムの研究の基盤として用いられている。Kademlia は、BitTorrent[36] でトラッカー (インデックスサーバ) の代わりに用いられ、また、eMule[47] で採用されるといったように、特に実用上の応用例が多い。

その後に発表された DHT の例としては、バタフライグラフ (Butterfly Graph) に基づく Viceroy[111] (2002 年) や de Bruijn グラフに基づく Koorde[93] (2003 年) 等がある。

本調査では、最近の DHT の研究動向について、特に 2008–2009 年に行われた研究を中心にまとめた。

詳しくは wide-tr-ideon-dht-survey2010.pdf を参照されたい。

3.2 NAT 問題フリーな DHT を実現するライブラリ libcage の設計と実装

分散ハッシュテーブル (DHT) は Peer-to-Peer (P2P) ネットワークを構築する手法の 1 つであり、スケーラビリティの高い Key-Value 型の検索を可能とする。しかしながら、既存の DHT アルゴリズムは NAT の問題を考慮しておらず、現実世界で用いるには不十分である。NAT 問題は非常に深刻であり、P2P ネットワークアプリケーションを設計・実装する際に最も考慮しなければならない点であるが、既存 DHT アルゴリズム・実装のほとんどは、NAT 問題について十分に考慮しているとは言い難い。

そこで我々は、NAT が介在する環境においても安定して利用することの出来る DHT の設計と、実証ライブラリである libcage の実装を行い、評価した。なお、libcage のソースコードはインターネット上に BSD ライセンスで公開しているため、誰でも自由に利用・改変が可能である。

詳しくは「NAT 問題フリーな DHT を実現するライブラリ libcage の設計と実装」[169]³を参照されたい。

3.3 細粒度商品トレーサビリティの表現モデル

商品トレーサビリティシステムは、広義には商品の生産・加工・流通状況を把握するシステム一般を指す。中でも、個品レベルの商品トレーサビリティシステムは、商品一つひとつに付けられた ID を key とした商品情報の統合を可能とするシステムである。本研究では、個品レベルの商品トレーサビリティシステムにおける商品のライフサイクルを表現する必要十分な表現モデルを示す。分散システムにより、個品レベルの商品トレーサビリティシステムを実現する研究 [82, 214] がある。これらのシステムでは一般に、商品取り扱い者が最終的なデータを保持する必要がある。その結果、商品取り扱い者が廃業・機器故障・その他の理由でシステムを離脱するとトレーサビリティが担保されなくなるという問題が存在する。本研究では、分散コンピューティングにおける来歴管理 (Data Provenance) の考え方を商品トレーサビリティシステムに適用し、商品トレーサビリティに必要な表現モデルを提案する。本方式のゴールは、商品トレーサビリティに必要な情報がこのようなモ

3 http://www.jstage.jst.go.jp/article/jssst/27/4/27_4-58/_article

デルにより表現でき、何らかのストレージ基盤に集められることで、商品取り扱い者の離脱に関わらずトレーサビリティを維持できることである。

3.4 P2P バーター取引におけるリスクの役割について

Complementary currencies in the context of P2P (peer-to-peer) networks can be powerful tools for promoting exchanges and building sustainable relationships among selfish peers on the Internet. *i*-WAT[154] (Internet WAT) has been proposed as such a currency based on the WAT System[187], a polycentric, real-life complementary currency using WAT tickets as its media of exchange; participants spontaneously issue and circulate the tickets as needed, whose values are backed up by chains of trust.

This research investigated the claim made in the past[155] that the design of *i*-WAT is incentive-compatible as to counteraction against *moral hazards*. Such hazards are impeded in *i*-WAT because participants will have to take natural evasive actions to avoid apparent risks posed by misbehaviors of others.

This effect is measured for *regular* tickets, whose values remain constant over time, as well as for *reduction*[157] and *multiplication*[156] tickets, whose values are reduced or multiplied over time, respectively, by simulating some small worlds of traders in the presence of *whitewashers*[50], a kind of free-riders who strategically leave and re-join the system with new identities. The results are compared with simulations of MCS (Mutual Credit System), the category into which many existing currencies fall.

詳しくは、“The brighter side of risks in peer-to-peer barter relationships” (wide-paper-ideon-p2p-barter2010.txt) を参照されたい。

第4章 まとめ

2010年のIDEON-WGの活動は、その原点に立ち返り、分散ハッシュテーブルの研究動向を改めて見直すとともに、その実用化に向けた基礎技術の確立を行った。また、実世界におけるオーバレイネットワーク技術の展開を見据え、トレーサビリティおよびバーター取引の分野における研究を実施した。

一方、人類が既にピークオイルを迎えたことが明らかになりつつあり、文明はその転換を迫られている。石油・石炭・ウラン等の枯渇性エネルギーは、枯渇こそしないものの、生産ピークを迎えることにより減産傾向が永久に続くため、利用しづらくなっていく。その他の鉱物資源や水資源は、取得のためのエネルギーコストが増大するために、やはり使いにくくなっていく。それでも無理してエネルギーを使うならば、自分の首を絞める生物多様性の劣化、気候変動、およびその他の環境の悪化へと繋がっていく。エネルギーを使うことは、物質を運んだり、物質の分子構造/原子構造を変化させたり、熱やゴミを生むことであるのだから、私たちを取り巻く環境がそれにより急激な変化を起こすことは、考えてみれば当然である。

人類がこの先も地球上で生きていくことを望むなら、太陽からのエネルギー予算を人間の身の丈で利用し、自然に対する非暴力、不服従を貫いて生きていく、持続可能な新しい文明を作る以外にない。そして、そうした変化を、今、起こせることは、この上もなく好奇心・探求心をそそることであり、研究者としてやり甲斐に満ちたテーマとなるのではないだろうか。

多くのIDEON-WGメンバ、そしてWIDEメンバが、新しい文明の情報基盤を形成するというテーマに自身の技術力や発想力が活かせることに気づき、この困難な課題への取り組みに参加することを期待したい。