

利用者端末間での情報循環による情報交換・流通環境

櫻 打 彬 夫^{†1} 高 田 秀 志^{†2}

旧来、P2P ファイル共有システムのように利用同士で情報を交換させたり、CDN のようにサーバ側からのアプローチとして情報配信インフラを構築するなど、様々な情報交換・流通環境が提案されてきた。しかし、このような既存環境から情報を取得するためには、キーワード検索を行うなど、システムに対して能動的な働きかけが必要となる。本稿では、情報を利用者の端末間で常に循環させることにより、利用者がシステムに対して能動的な働きかけなしに、テレビやラジオのように容易に情報を取得することができる情報交換・流通環境を提案する。また、提案環境の実現に向けた検討結果を示すとともに、開発したプロトタイプシステムについて述べる。

An Information Exchange and Diffusion Environment Based on the Information Stream through User Terminals

YOSHIO SAKURAUCHI^{†1} and HIDEYUKI TAKADA^{†2}

Several information exchange and diffusion environments, such as P2P file sharing systems and CDNs, have been proposed and used for information exchange among consumers. Although these kinds of systems are very useful, consumers need to take some active actions to obtain information. A typical example is keyword search which causes the digital divide. In this paper, an information exchange and diffusion environment based on the information stream is proposed and discussed. The proposed system enables consumers to get information as easy and simple as watching TV. A prototype system is also described.

^{†1} 立命館大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

^{†2} 立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

近年、ブログや動画投稿サイトなどに代表される CGM (Consumer Generated Media) を通して、個人間での情報交換が活発に行われている。CGM で流通する UGC (User Generated Content) が Web の主要コンテンツであることは、トラフィックの面からも自明である¹⁾。このような Web に存在するコンテンツを取得するためには、検索エンジンを用いてキーワード検索を行うなど、能動的な働きかけが必要となる。これは、利用者が選択するキーワードや使用する検索エンジンによって得られる情報が異なることを意味する。すなわち、利用者間でデジタルデバイドの問題があると同時に、情報が生産されても適切な利用者に届かない可能性があるという問題がある。

UGC を対象とした情報交換・流通環境については、既に多くの既存研究がある。しかし、それらは利用者同士で情報 (キャッシュを含む) をファイル共有という形で交換・流通させたり、サーバ側からのアプローチとして、クラウドコンピューティングに代表されるインフラを構築するものである。このような既存環境から情報を取得するためには、依然としてキーワード検索を行うなど、システムに対して能動的な働きかけが必要となる。

本稿では、利用者の端末間で常に循環する情報の流れとして「Information Stream」を定義し、Information Stream による新しい情報交換・流通環境を提案する。提案環境では、利用者は情報発見を検索エンジンなどに依存することなく、テレビやラジオを視聴するかのように入動的に情報を取得することができる。

2. 情報の交換と流通

新しい情報交換・流通環境を提案するにあたって、現状の Web を用いた情報の交換と流通、及び、代表的な既存の情報交換・流通モデルについて考察する。

2.1 Web を用いた情報交換・流通

個人間での情報交換・流通環境として、Web が広く利用されていることは自明であろう。この Web に存在する情報は、Surface Web と Deep Web とに大別できる。Surface Web とは、検索エンジンのクローラがリンクを辿るなどして、容易に収集できる情報のことである。対して、Deep Web とは、クローラがその存在を知らないなどの理由で、収集が困難な情報のことである。

通常、Web から情報を得るためには、何らかの方法で、その情報の URI を知る必要がある。一般的に、Web に存在する情報にアクセスする手段として、検索エンジンを用いた

キーワード検索が使われている。しかし、検索エンジンでは、言うまでもなく Deep Web の情報を取得することは困難である。そのため、Deep Web の情報を活用するために、様々な試みがなされてきた²⁾が、根本的な解決には至っていない。

また近年、Twitter^{*1}などに代表される、情報の生成と同時にその情報が受信できる Real-time Web が注目を集めている。特に、災害や事件においては、既存のマスメディアよりも速く情報が流れることが少なくない。先般の東北地方太平洋沖地震においても、情報の交換・流通手段として、大いに活用された。しかし、生成される情報の急激な増加に伴い、必要な情報の選別が困難になっている。Twitter については、4.1 節において詳しく考察を行う。

また、情報社会においてはデジタルデバイドの問題が、常に取り沙汰される³⁾。端的には、有用な情報が存在しているにもかかわらず、適切な検索キーワードを選択できなかったり、アプリケーションの操作方法が分からないなどの理由で、その情報を取得することができない利用者が存在する。生産され続ける Real-time Web の膨大な情報は、デジタルデバイドを更に深刻化していると言える。

2.2 既存の情報交換・流通モデル

既存環境で使われている代表的な情報交換・流通モデルとして、以下の3つが考えられる。

2.2.1 Publish/Subscribe モデル

Publish/Subscribe モデルは、情報の発信者が継続的に情報を発信することを前提に、利用者が発信者を指定し、指定された発信者が発信する情報を利用者が購読するモデルである。代表的な例として、RSS リーダがあげられる。RSS リーダでは、利用者が購読したい RSS フィードをリーダソフトウェアに登録することで、利用者は登録した RSS フィードが更新される度にその情報を取得することができる。

このモデルでは、利用者による購読操作が必須であり、購読対象を探す段階でデジタルデバイドの問題が発生すると考えられる。情報の発信者ではなく、キーワードを登録することで柔軟に情報を取得する手法⁴⁾なども提案されているが、利用者はキーワードを選択する必要がある、依然としてデジタルデバイドの問題は残る。

2.2.2 Gossip モデル

Gossip モデルは、口コミを模して、ある利用者が良いと思った情報を他の利用者に伝播させるモデルである。

現実世界において携帯情報端末の近距離無線通信機能を用いて情報を伝播させる場合に

は、利用者同士が物理的にすれ違う必要があり、すれ違うことができなかつた利用者が情報を取得できないという問題がある。また、オンライン上のソーシャルネットワークを用いた伝播モデル⁵⁾も提案されているが、いわゆる6次の隔たりと言われるスモールワールド性のため多くの情報が集まりすぎ、受信した情報全体に対する利用者にとって有用な情報の割合が低くなってしまふと考えられる。

2.2.3 P2P Streaming モデル

P2P Streaming モデルは、情報の発信者から利用者に向かって情報を連続して送信し続けるモデルである。既にビデオ配信などの分野では実用化されている⁶⁾。

P2P Streaming は、一般的に単一の情報発信者に複数の受信者が存在する一対多通信である。そのため、一人の利用者が情報の発信者と受信者を兼ねる多対多通信を行うためには、単一の発信者に他の利用者が情報の発信要求を出したり、発信者の数だけ配信システムを動作させる必要がある。いずれの方法も利用者が増えた場合にスケールアウトせず、情報の配信が極端に遅くなるなどして正常に使用できなくなると考えられる。

3. 循環型情報交換・流通環境

Web や既存の情報交換・流通モデルが抱える問題を考慮し、容易に必要な情報が得られ、スケールアウトする新しい情報交換・流通環境を提案する。提案環境の核心は、利用者の属性や情報端末の性能などを考慮し、利用者の端末間を流れる Information Stream を構成することにある。これによって、情報を利用者の端末間を常に流れるものとし、利用者は能動的な働きかけ無しに、テレビやラジオを視聴するかのように受動的に自分の端末を流れている情報を得ることができる。以下、Information Stream を用いた情報の交換と流通、提案環境の全体像、また、CDN との連携について説明する。

3.1 Information Stream と情報の交換・流通

Information Stream の構造を、図1に示す。提案環境の利用者が使用するパソコンや携帯情報端末などの情報端末をノード(Node)、その中で特定の条件を満たしたものをスーパーノード(Super Node)と呼ぶ。スーパーノードは、他のノードよりも処理性能や通信帯域が勝ったり、長時間継続して Information Stream に参加しているノードである。図中の雲型(Information Circulator)はスーパーノードの集合、円は一つのノードを表す。以下、Information Stream と、Information Stream を用いた情報交換について述べる。

3.1.1 Information Stream

まず、スーパーノード及びノードは、オーバーレイネットワークを形成する。このオー

*1 <http://twitter.com/>

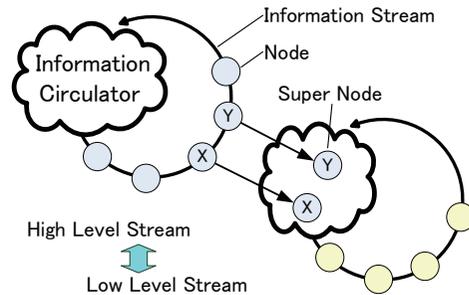


図1 Information Stream の構造
Fig.1 The structure of Information Stream

バーレイネットワークは、主として DHT (Distributed Hash Table) アルゴリズムの一種である Chord⁷⁾ をもとにした P2P 型の Structured オーバーレイネットワークであり、通信帯域やネットワークへの参加継続時間などを考慮して最適化が行われる。なお、Chord はノードの参加や離脱といった組織化のみに用い、通常の DHT のように key-value ストアとして動作させるわけではない。また、最適化については、後述の階層化とも関連し、Information Stream がより円滑に流れるように、組織化したノードの繋ぎ換えなどを行う。

次に、Information Circulator は、形成された P2P ネットワークに情報を循環させ、Information Stream を作る。Information Stream は、Information Circulator を起点・終点とし、参加する全ノードを通過する情報の流れであり、提案環境の根幹をなすものである。実際に情報を循環させるにあたっては、単純に Chord の successor を利用して、各ノードが Information Stream を successor に中継して行く。

加えて、規模透過性という観点から、ノードの数が増えて Information Stream の流れが悪くなった場合に、ネットワークは自律的に階層化して行く。例えば、図1のノード X、Y が属する Information Stream の流れが悪くなった場合、X と Y が新たな Information Circulator となり、元の流れを上位として新しい下位の Information Stream を形成する。形成された下位の Information Stream には、元の Information Stream に属していたノードの一部と今後参加するノードが属する。

また、各階層の Information Stream に属するノード数が減った場合には、下位の階層から順に上位の階層と統合して行く。

3.1.2 Information Stream による情報交換

スーパーノード及びノードの利用者は、自分の端末（ノード）に流れている Information Stream の情報を閲覧・視聴することができる。閲覧・視聴に際しては、情報弱者にとっても利用しやすいように、テレビやラジオのように受動的に情報が得られる形態を取る。利用者への情報の提示方法については、3.2 節で後述する。

また、参加しているスーパーノード及びノードは、自由に情報を Information Stream に加えることができる。これによって情報の存在が提案環境の利用者に明らかになり、Deep Web のように、情報が存在しているのにも関わらずその情報の発見と取得が困難な状況が回避できる。

さらに、Information Stream の情報は、一定の TTL (Time To Live) を持ち、TTL が過ぎると消去される。TTL の管理は、原則として Information Circulator によって行われる。なお、有用な情報については TTL を延ばし、スパム情報などについては TTL を減らす。有用かスパムかの判定には、コンテンツ解析を行う方法も考えられるが、利用者の閲覧行動や評価・通報行動に基づいて判定することを想定している。

3.1.3 交換・流通対象とする情報の公共性

情報の公共性は、その情報がどれだけの人にとって有用なのかを表す。例えば、一人の利用者にとってのみ有用な情報は極めて公共性が低く、大多数の利用者にとって有用である情報は極めて公共性が高いと言える。

提案環境では、ある程度の公共性を持つ情報を交換・流通の対象とする。これは、Information Stream によって全ての参加端末に情報が流通するためである。前述のように全ての利用者は、自由に情報を Information Stream に加えることができるが、TTL の制御によって公共性の低い情報は淘汰されると考えられる。

3.2 循環型情報交換・流通環境の3層モデル

循環型情報交換・流通環境の3層モデルを、図2に示す。提案環境は、クラスタレイヤ (Cluster Layer)、ストリームレイヤ (Stream Layer)、プレゼンテーションレイヤ (Presentation Layer) の3層からなる。図中の色付けされた小円は、図1におけるノードと同義である。以下、各レイヤの役割について述べる。

クラスタレイヤ

クラスタとは、ノードを当該利用者の趣味や嗜好、現在位置などの情報に基づいて分類した集合である。なお、ここでのクラスタリングは、一つのノードがただ一つのクラスタにの

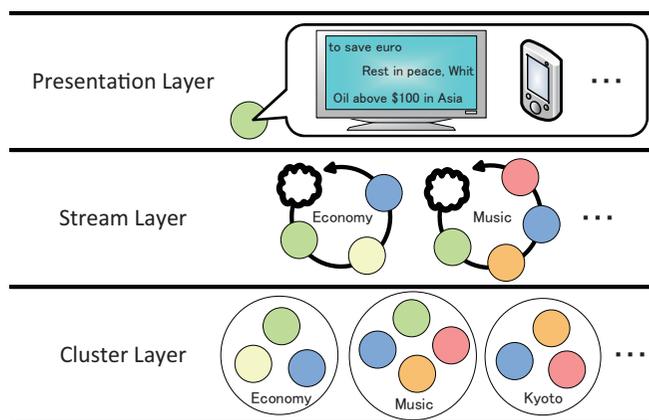


図2 循環型情報交換・流通環境の3層モデル
Fig.2 The three-layer model of the proposed environment

み属するハードクラスタリングではなく、一つのノードが複数のクラスタに属することを許すソフトクラスタリングである。

クラスタレイヤでは、ノードのクラスタへの参加と離脱、また、新しいクラスタの形成と既存クラスタの削除といった管理を行う。ここで、ノードのクラスタへの参加と離脱は自動的に行われることを前提とするが、利用者による能動的な参加・離脱操作を制限するものではない。

ストリームレイヤ

ストリームレイヤでは、クラスタレイヤで分けられたクラスタ内での Information Stream の管理を行う。すなわち、各 Information Stream は当該クラスタの中で閉じており、他の Information Stream と交わることはない。

プレゼンテーションレイヤ

プレゼンテーションレイヤでは、ストリームレイヤからの情報をどのように利用者に提示するかを管理する。提示方法は、テレビやラジオのように受動的に情報が得られる形態を原則とする。ただし、提案環境はあくまで利用者端末間で情報を循環させることによる情報交換や流通を提案するものであり、その情報の提示方法を厳密に定義付けるものではない。

例えば、5節で後述するプロトタイプでは、右から左へ文字による情報の概要が異なる速さで流れており、その文字を選択すると情報全体が表示されるインタフェースになっている。

3.3 CDN との連携

情報が利用者端末間を循環するという特徴からも明らかなように、動画などデータサイズの大きい情報をそのまま取り出すのは現実的ではない。そこで、循環させる情報のデータサイズに上限を設け、取まらない場合については URI で外部の情報に誘導するという方法が考えられる。例えば、情報の本体は従来通り Web に配置し、その URI を提案システムで流通させるといった運用形態が考えられる。

CDN については、著者らが研究している OpenWeb⁸⁾ のように、オリジナルの情報を所有するホストをルートとしたツリー状のものが有用である。さらに、外部の CDN と連携するのではなく、環境に P2P CDN を組み込むことも考えられる。

一方で、NGN (Next Generation Network) などが整備されれば、大容量の情報をそのまま Information Stream に乗せて流すことは十分に可能になると予想できる。

4. 実現へ向けた検討

循環型情報交換・流通環境を実現するにあたって、提案環境と類似した既存の情報交換・流通環境である Twitter の考察を行うとともに、実現へ向けた見通しについて述べる。

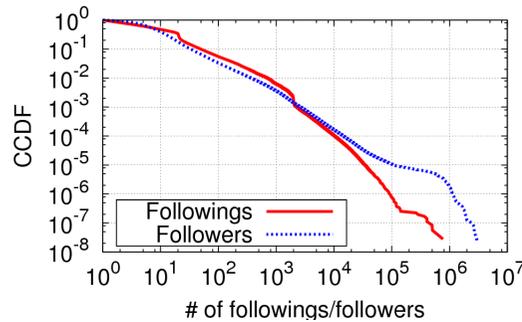
4.1 Twitter の考察

Twitter は、各利用者が 140 字以内の「ツイート」と呼ばれる短文を投稿し、利用者が「フォロー」と呼ばれる購読操作をした他の利用者のツイートが時系列に表示される情報サービスである。このフォローという関係から、SNS (Social Networking Service) の一つとの捉え方もある。また、利用者は個人だけではなく、企業や大学などの法人が情報提供を行うための手段としても広く使用されている¹⁰⁾。

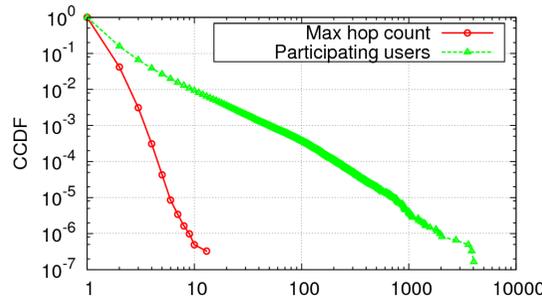
4.1.1 Twitter と提案環境の類似性

Twitter には、多くの利用者がお気に入り追加したツイートや特定分野のツイートなどをまとめ、それをツイートするようなアカウントが存在する。このようなアカウントは、通常「bot」と呼ばれ、人間が手動でツイート操作等を行なっているのではなくプログラムによって機械的に行われている。

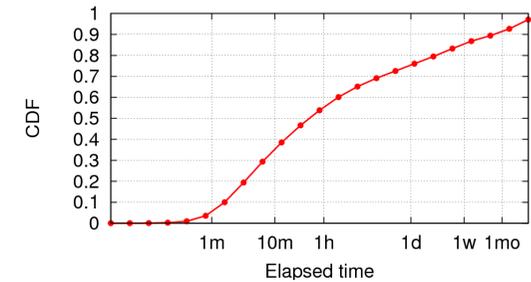
これらの bot の存在や自分をフォローしている利用者への他の利用者のツイートを引用形式で拡散する「リツイート」と呼ばれる機能があることなどを考慮すると、利用者が能動的に情報を取得しようとしていない相手から受動的に情報を取得できるという点において、Twitter は提案環境に類似した情報の交換・流通環境であると捉えることができる。すなわち、Twitter からの知見は、提案環境を実現して行く上で非常に有用であると考えられる。



A フォロー数とフォロワー数
A Number of followings and followers



B リツイートに関わったユーザ数とリツイート回数
B Height and participating users in retweet trees



C リツイートされるまでの時間
C Time lag between a retweet and the original tweet

図3 Haewoon らによる Twitter の分析結果⁹⁾
Fig. 3 Twitter analysis by Haewoon et al.⁹⁾

4.1.2 Twitter からの知見

Haewoon らによる Twitter の分析結果⁹⁾の一部を、図3に示す。図3のAは、フォロー数とフォロワー（自分をフォローしている他の利用者）数を表している。縦軸は、相補累積分布関数 CCDF (complementary cumulative distribution function) である。これを見ると、 10^5 あたりからフォロー数とフォロワー数の乖離が顕著になっている。Haewoon らによると、非常に多くのフォロワーを集めているのは、マスメディアや有名人のアカウントである。

次に、提案環境と Twitter との類似性を生み出しているリツイートに注目する。図3のBは、フォロー関係をグラフ構造として見た場合に、あるツイートが何ホップ先まで広がって行ったか、またどれだけの利用者に伝播したかを表している。また、Cはツイートが投稿されてからリツイートされるまでの時間を表している。縦軸は、それぞれ、CCDF と累積分布関数 CDF (cumulative distribution function) である。

ホップ数では、1ホップのものが95.8%を締め、11ホップ以上のものは存在しない。これは、一部の人間にとってのみ有用である情報が多いこと、また、11ホップでほぼ利用者全体に行き渡ることが考えられる。なお、「nホップ」とは元となるツイートを基点としたグラフ上での距離がnホップである利用者がリツイートしたという意味であるため、当該範囲に含まれる利用者の数は、nホップだからn人ということではなく、1ホップでも複数人がリツイートした可能性がある。

リツイートされるまでの時間については、75%が1日以下である一方で、10%は1ヶ月後である。これは、75%の情報が1日でその価値を失い、10%の情報は1ヶ月が経過しても価値を保っていると見なすことができる。

まとめると、マスメディアや有名人が発信する情報は多くの人にとって関心があり、多くの利用者にとって有用である情報は極めて少なく（仮に2ホップ以上としても4.2%）、情報の大半は1日で価値を失う一方で少数は1ヶ月が経過しても価値を保っている。

以上のことから、

- より効率的に情報を利用者に届けるため、マスメディアや有名人が発信する情報については、通常の利用者と分けた別系統の Information Stream を用意した方が良い。
- 多くの利用者にとって有用である情報は極めて少なく、ある程度の公共性を持った情報を参加端末間で常に循環させるという提案環境は大いに実現の可能性がある。
- 情報によって価値を失うまでの時間が異なるため、利用者への提示方法を工夫する必要がある。

という3つの知見が得られた。

4.2 実現へ向けた見通し

前節より得られた知見も含め、提案環境の実現へ向けた見通しを述べる。

まず、クラスタレイヤ、及び、ストリームレイヤの実現にあたっては、クラスタレイヤをルート階層、ストリームレイヤをそれ以下の階層とした階層的 P2P¹¹⁾ で管理するのが適当

であると考えられる。ただし、レイヤ間の独立性を保つために、ルート階層を含めた上位階層は直下の階層のみを関知し、下位階層は直上の階層がクラスタレイヤでない限り、直上の階層のみを関知する仕組みが必要であろう。

また、ストリームレイヤにおける Information Stream の制御については、既存の P2P アルゴリズムが応用できると考えられる。しかし、Chord に代表される既存の P2P アルゴリズムは、IP アドレスなどの静的情報に対するハッシュ値のみを用いてネットワークを構築する。そのため、オリジナルのアルゴリズムだけでは、Information Stream を扱うのには適さないと考えられる。そこで、通信帯域やネットワークへの参加継続時間などを考慮して、広帯域で参加継続時間が長いノードは structured P2P、狭帯域で参加継続時間が短いノードは unstructured P2P で管理するいうように組み合わせるのが適当であると考えられる。現時点では、structured P2P については既出のように Chord、unstructured P2P については、Information Stream をブロードキャストとして扱う必要があることから、FatNemo¹²⁾ のように fat-tree を用いたアルゴリズムを想定している。

一方で、一部のマスメディアや有名人については、一般利用者の Information Stream とは分け、2.2.3 節で説明した P2P Streaming モデルを用いることが考えられる。これは、情報の発信者が少数であると同時に、その情報に感心を持つ利用者が非常に多いためである。

さらに、プレゼンテーションレイヤの実装では、情報によって異なる価値を失うまでの時間を考慮し、5.3 節で後述するように感覚的にその情報の性質を示すように努める。また、既存の情報交換・流通環境でも問題になっているように、人権や著作権などを侵害した情報を削除するなどの統治が必要になると予想できる。しかし、Information Stream をスーパーノードで管理しているため、通報機能などを実装することで当該情報の削除は容易であると考えられる。

加えて、物理的なネットワークとして MANET (Mobile Ad-hoc Network) や DTN (Delay Tolerant Network) を用いることによって、近接端末のみ、あるいは、遠方の端末との情報交換や流通が期待できる。これは、日常における利用の他、有事発生時の災害関連情報へのアクセスなどに活用できる可能性があることを示している。

5. プロトタイプシステムの構築

循環型情報交換・流通環境を実現する足掛かりとして Information Stream の動作を検証するため、プロトタイプシステムの開発を行った。プロトタイプシステムの実行例を、図 4 に示す。プロトタイプでは、一つのクラスタ内での動作を想定し、ストリームレイヤとプレ

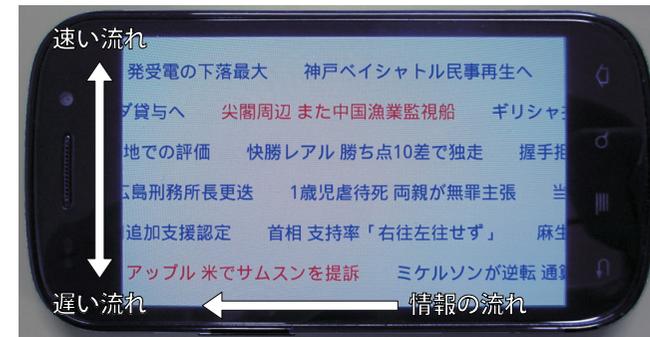


図 4 プロトタイプシステム
Fig.4 The prototype system

ゼンテーションレイヤの実装を行った。以下、開発環境と各レイヤの実装について述べる。

5.1 開発環境

今回は、携帯情報端末による利用を想定し、Android OS^{*2}を対象に開発を行った。Android OS は、Linux ベースの携帯情報端末向けの OS であり、アプリケーションの開発言語は主として Java と C/C++ である。

プロトタイプシステムは、Java を用いて開発を行い、ビルド対象は Android 2.0 (API Level 5) とした。なお、Android の API は上位互換であり、開発したプロトタイプは、Android 2.x 系、3.x 系、4.x 系のいずれでも動作する。

5.2 ストリームレイヤ

現在、移動体通信事業者の多くが自社のネットワークと外部のネットワークとの接続に NAT を使用しているために、移動体通信事業者の内部ネットワークに存在する端末に外部ネットワークから PUSH 型通信を行うのは困難である。定期的にポーリングするなど、擬似的に PUSH 型通信を行うことは可能であるが、同様の理由で携帯情報端末同士の場合には実現は困難である。

したがって、今回のストリームレイヤの実装では、HTTP による PULL 型通信によって情報を参加端末間に流通させるものとし、グローバル IP を持たないノードは他のグローバル IP を持ったノードを通して Information Stream に参加するものとした。具体的には、グロー

*2 <http://www.openhandsetalliance.com/>

バル IP を持たないノードは他のノードからの接続を受け付けることは無く、Information Stream の情報を取得する場合、Information Stream に情報を加える場合にはグローバル IP を持つ他のノードに依頼する。現状では、グローバル IP を持ったノードの負荷が高くなるが、IPv6 の普及によって全ての情報端末にグローバル IP が割り振られるようになれば、NAT の問題が解消されるとともに、全てのノードが直接 Information Stream に参加できるようになると考えられる。

また、利用者が Information Stream に加えることができる情報は、文字と URL の組を一つの単位とした。さらに、既に Information Stream で流通している情報として、Yahoo! ニュースの RSS データ^{*3}を使用した。

なお、今回は多数の端末を用意することが難しいため、自立的な階層化については実装していない。同様に、実運用を通して利用者の情報に対する閲覧回数など取得して TTL を操作することが難しいため、TTL に関係する機能も実装していない。

5.3 プレゼンテーションレイヤ

プレゼンテーションレイヤの実装では、図 4 に示すように、文字による情報の概要が右から左へ流れるインタフェースを採用した。また、各情報の流れる速度は可変である。これは、Twitter からの知見にもとづき、速報の情報は早い流れ、重要な情報は遅い流れなど提示方法を変えることで、その情報の性質を感覚的に示すことを狙ったものである。

さらに、流れている文字にタッチすることで、当該ニュースの WEB ページが開き、情報の詳細を表示することができる。

6. おわりに

本稿では、Web や既存の情報交換・流通モデルが持つ問題を示すとともに、そのような問題を解決するための新しい環境として循環型情報交換・流通環境を提案した。また、提案環境と類似した情報交換・流通環境である Twitter から得られた知見を示し、提案環境の実現へ向けた検討を行った。さらに、プロトタイプシステムの構築について述べた。今後は、検討結果をもとにクラスレイヤ、ストリームレイヤの P2P プロトコルを策定し、プロトコル自体の評価を行うとともに、プロトタイプシステムに組み込み実際の運用を通じた有用性の評価を行なっていく予定である。

参 考 文 献

- 1) Cisco Systems: Entering the Zettabyte Era, White paper, Cisco Systems (2011).
- 2) Khare, R., An, Y. and Song, I.-Y.: Understanding deep web search interfaces: a survey, *ACM SIGMOD Record*, Vol.39, No.1, pp.33–40 (2010).
- 3) Bristow, P.: The digital divide: Is it an age old question?, *ITI 7th International Conference on Communications and Information Technology (ICICT2009)*, Cairo, IEEE, pp.61–75 (2009).
- 4) Rao, W., Vitenberg, R. and Tarkoma, S.: Towards optimal keyword-based content dissemination in DHT-based P2P networks, *2011 IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, IEEE, pp.102–111 (2011).
- 5) Mega, G., Montresor, A. and Picco, G.: Efficient dissemination in decentralized social networks, *2011 IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, IEEE, pp.338–347 (2011).
- 6) Yuhara, H.: P2P live streams of 2010 NHK National School Chorus Contest, *2011 IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, IEEE, pp.216–219 (2011).
- 7) Stoica, I., Morris, R., Karger, D., Kaashoek, M.F. and Balakrishnan, H.: Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications, *Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, SIGCOMM '01, New York, NY, USA, ACM, pp.149–160 (online), DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/383059.383071> (2001).
- 8) Sakurauchi, Y., McGeer, R. and Takada, H.: OpenWeb: Seamless Proxy Interconnection at the Switching Layer, *International Journal of Networking and Computing*, Vol.1, No.2 (online), available from (<http://www.ijn.org/index.php/ijn/article/view/22>) (2011).
- 9) Kwak, H., Lee, C., Park, H. and Moon, S.: What is Twitter, a social network or a news media?, *WWW '10: Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, New York, NY, USA, ACM, pp.591–600 (2010).
- 10) Wu, S., Hofman, J.M., Mason, W.A. and Watts, D.J.: Who says what to whom on twitter, *Proceedings of the 20th international conference on World wide web*, WWW '11, New York, NY, USA, ACM, ACM, pp.705–714 (2011).
- 11) Garces-Erice, L., Biersack, E.W., Felber, P.A., Ross, K.W. and Urvoy-Keller, G.: Hierarchical peer-to-peer systems, *Euro-Par 2003 Parallel Processing*, pp.1230–1239 (2003).
- 12) Birrer, S., Lu, D., Bustamante, F., Qiao, Y. and Dinda, P.: FatNemo: Building a resilient multi-source multicast fat-tree, *Web Content Caching and Distribution*, pp.182–196 (2004).

*3 <http://public.news.yahoo.co.jp/rss/>