

修士論文 2002 年度(平成 14 年度)

アドホックなコミュニケーションにおける
情報伝播モデルに関する研究

慶應義塾大学 大学院 政策・メディア研究科
石田 剛朗(89831044)

アドホックなコミュニケーションにおける 情報伝播モデルに関する研究

局所的な無線通信は、地理的に近接するノード間における簡易な通信機構を実現し、情報発信時において通信相手を特定しない偶発的なコミュニケーションを可能にした。無線によるブロードキャストで配信されたメッセージは電波到達範囲内に存在する不特定のノードへと伝わり、受信したノードによってさらに不特定のノードへと伝えられる。

本論文では、不特定多数のノードによるこのような偶発的な情報交換の連鎖を「アドホックコミュニケーション」と定義した。アドホックコミュニケーションにおいては現実社会における口コミや噂などと同様、発信されたメッセージは多段的に拡散し、伝播範囲は無秩序に拡大することになる。しかしこのような伝播範囲の広がりには秩序を持たせることによって、地域的な情報共有モデルが実現するのではないかと考えた。

本研究では、偶発的なエンカウンターを元にした情報交換の形態がもたらす情報の氾濫などの問題点を整理し、発信されたメッセージが中継するノードの協調作業によって緩やかにコントロールされる機構を持つことで可能となるコミュニケーションの形態を考察する。

また、これを実現する具体的なシステムとして、移動ノードのコンテキストに応じた自律的なコンテンツナビゲーションの仕組みに着目し、必要となる機能とフレームワークを設計した。基本的なアプリケーション機能についてはネットワーク上において実装し、シミュレーションを通じた評価を行うことによって有効性を検証する。

キーワード

1. アドホックコミュニケーション
2. 位置情報
3. 無線通信
4. 情報伝播
5. フラッドディング

Information Propagation Model in Ad Hoc Communication

The local wireless communication provides simple communication mechanisms between the nodes that geographically adjacent to one another.

The use of wireless communication allows accidental communications for unspecified target at the time the information is transmitted. The messages broadcasted with the wireless communication are sent to unspecified nodes within the radio coverage/range(neighbor area), and then the nodes(the receiver) forward them to neighbors.

In this thesis, the above information exchange among unspecified nodes is defined as "ad hoc communication". Under the ad hoc communication similar to the mouth-to-mouth advertising and rumors in real world, transmitted messages are spread disorderly with multi-hop communication. It is however assumed that local information-share model is implemented by controlling the message spread.

In this research we clarify some issues on information surfeit brought from the information exchange based on the accidental encounter. Then, we consider the new form of communication provided by mechanism that the nodes collaborating each other loosely control messages transmitted.

In addition, a framework with necessary functions is designed as a specific system to achieve above mode by focusing on the context-sensitive autonomous contents-navigation scheme of mobile node. We implement fundamental application on computer network and evaluate effect of it by conducting simulation.

Keyword

1. ad hoc communication
2. location information
3. wireless communication
4. information propagation
5. flooding

目次

第1章 序論.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 問題意識.....	1
1.3 本研究の目的.....	1
第2章 局所通信における コミュニケーション.....	3
2.1 無線通信の現状.....	3
2.1.1 無線通信の規格.....	3
2.1.2 無線による局所ネットワークの構成.....	4
2.1.3 無線による局所ネットワークの特徴.....	6
2.2 インターネット上のメッセージ伝達モデル.....	7
2.2.1 ネットワークトポロジ.....	7
2.2.2 インターネット上のメッセージ伝達.....	8
2.2.3 インターネット上のメッセージ伝達モデルの特徴.....	10
2.3 局所通信におけるメッセージ伝達モデル.....	10
2.3.1 局所通信におけるメッセージ伝達.....	10
2.3.2 メッセージ伝達モデルの特徴.....	10
第3章 アドホックコミュニケーションの特徴.....	12
3.1 伝播型情報伝達モデルの考察.....	12
3.1.1 伝搬型情報伝達と伝播型情報伝達.....	12
伝搬型情報伝達モデル.....	12
伝播型情報伝達モデル.....	13
3.1.2 現実社会における伝播型情報流通形態.....	14
3.1.3 通信としての伝播型情報伝達モデルの特徴.....	15
3.1.4 伝播型情報伝達モデルの利用法.....	15
3.2 アドホックコミュニケーションにおける情報伝播の特徴.....	16
3.2.1 機能としての有効性.....	16
無線通信としての利点.....	16
計算機通信としての利点.....	16
3.2.2 問題点.....	17
3.3 まとめ.....	17
3.3.1 アドホックコミュニケーションの可能性.....	17
3.3.2 課題点.....	17
第4章 研究のアプローチ.....	18
4.1 提案するメッセージ伝達モデル.....	18
4.2 コミュニケーション環境のモデル化.....	19
4.2.1 コミュニケーションの主体と役割.....	19
4.2.2 コミュニケーション上の制約.....	20
4.3 設計におけるコンセプト.....	21

4.4	必要な機能の考察.....	21
	発信者の目的を反映した転送ルール.....	21
	ユーザコンテキストの設定.....	22
4.4.2	自律ネットワーク上の Cache 機構.....	22
4.4.3	同一メッセージの識別.....	23
第 5 章	関連研究.....	24
5.1	特定地域における情報配信モデル.....	24
	ロケーションベースサービス.....	24
	無線基地局によるセル・ブロードキャスト.....	24
	スペースタグ.....	25
5.2	不特定多数のユーザを対象とした情報共有・交換.....	25
	P2P 型のファイル交換モデル.....	25
	モバイルエージェント技術.....	25
第 6 章	Content Cruising System.....	26
6.1	システムの概要.....	26
6.2	想定する利用者像.....	26
6.3	サーバントアプリケーションの構成.....	26
6.3.1	メッセージ作成部.....	26
	COMPASS のデータフィールド.....	26
6.3.2	受信部.....	27
6.3.3	コンテキスト監視部.....	27
6.3.4	蓄積部.....	27
6.3.5	送信部.....	27
6.3.6	表示部.....	28
6.4	モジュール間のプロセス.....	28
6.5	ルール設定と送信方法.....	28
6.5.1	ルールの設定.....	28
	トリガーの設定.....	29
	アクションの設定.....	29
6.6	インターバルタイムの設定.....	30
6.7	ルール設定と予測される伝播形態の仮説.....	31
6.7.1	時刻をトリガーとしたメッセージ伝播.....	31
	メッセージ送信の流れ.....	31
	ルール設定例.....	31
	予想される伝播範囲.....	31
	想定される用途.....	31
6.7.2	属性をトリガーとしたメッセージ伝播.....	31
	メッセージ送信の流れ.....	31
	ルール設定.....	32
	予想される伝播範囲.....	32
	想定される用途.....	32

6.7.3	位置情報をトリガーとしたメッセージ伝播	32
	地域限定型のメッセージ伝播	32
	地域停留型のメッセージ伝播	32
	求心力とインターバルタイムのグラフ	34
6.8	その他の機能	34
6.8.1	メッセージの消却	34
6.8.2	受信者の特定	35
6.8.3	MessageID の決定	35
第7章	シミュレーションによる予備検証	36
7.1	シミュレーションの目的	36
7.2	環境の設定	36
	人の移動モデル	36
	舞台	37
	人口密度	37
	人口流動性	38
	電波到達範囲	38
	送信アルゴリズムの設定	38
7.3	検証内容	38
7.3.1	仮説	39
7.4	シミュレーションの結果と考察	39
	各地点における受信比率	39
	一定時間ごとの状態変移	42
	結果の考察	43
第8章	実装	44
8.1	実装環境	44
8.1.1	ハードウェア	44
8.1.2	ソフトウェア	44
8.1.3	プログラミング言語	44
8.1.4	通信プロトコル	44
8.2	各モジュールの動作、及び動作確認	44
8.2.1	作成部	44
8.2.2	コンテキスト監視部	45
8.2.3	送信部	45
8.2.4	受信部	46
8.2.5	実装したアプリケーションのスクリーンショット	49
	作成部のスクリーンショット	49
	表示部のスクリーンショット	50
第9章	評価	51
9.1	Content Cruising System の特徴	51
	動作環境の優位性	51
	情報配信システムとしての特徴	51

9.2	想定される利用形態	52
第 10 章	結論	53
10.1	まとめ	53
10.2	今後の課題	53
	謝辞	55
	参考文献	56

目次

図 1	ピコネットの構成	5
図 2	アドホックモード	5
図 3	インフラストラクチャモード	6
図 4	IP によるルーティングの図	8
図 5	TCP によるコネクションの図	8
図 6	SMTP のメッセージヘッダ	9
図 7	SMTP によるメッセージ転送	10
図 8	移動ノードによる局所ネットワーク間のブリッジ	11
図 9	伝搬型の情報伝達	13
図 10	伝播型の情報伝達	13
図 11	ネットワークトポロジ上に固定されたノード間をメッセージが移動	19
図 12	地域に固定されたメッセージを新しく参入した移動ノードが閲覧	19
図 13	情報の憑依と地縛	21
図 14	COMPASS のデータフィールド	27
図 15	モジュール間のデータフロー	28
図 16	情報の求心力	33
図 17	送信アルゴリズムの決定	34
図 18	舞台のスクリーンショット	37
図 19	目標地点付近の情報の求心力のグラフ	39
図 20	送信アルゴリズムを用いなかった場合の受信比率	40
図 21	地域限定型の受信比率	40
図 22	地域停留型の受信比率	41
図 23	スタート	42
図 24	2 分後	42
図 25	15 分後 (地域限定型)	42
図 26	15 分後 (地域停留型)	42
図 27	1 時間後 (地域限定型)	43
図 28	1 時間後 (地域停留型)	43
図 29	作成部のスクリーンショット	49
図 30	表示部のスクリーンショット (全体)	50
図 31	表示部のスクリーンショット (拡大)	50

第1章 序論

本研究では移動体による局所無線通信の特徴についての考察を行い、その特徴によって生み出される新しいメッセージ伝達の可能性について議論する。またそのモデルを実現するためのシステムの設計を行い、ネットワーク上における実装と、シミュレーションでの試行を通じて、有効性についての評価を行う。

1.1 背景

無線通信では電波到達範囲において情報を同報することが可能であり、この機構を用いることで通信機は同じ通信範囲内にいる他の通信機に情報を配信できる。

通常の通信において情報配信を行う際、送信相手のアドレスなどをユーザが明確に定義せねばならない。これに対し、無線通信におけるブロードキャストでは、物理的な機構で通信相手を特定するため、ユーザは通信先の相手を意識せず情報を交換できる。

またインターネットでは、通信相手との距離をネットワークトポロジの観点から捉えているため、通信としての距離が現実空間上での距離の近さに対応しているわけではない。これに対し、無線通信における通信相手との近さは実空間上の近さとほぼ同義である。

近年の無線デバイスの小型化によって、無線による局所通信を可能とする数多くの機器が市場に出回っており、地理的に近接する不特定のノード同士の偶発的な情報交換を実現する環境は広く普及しつつある。

1.2 問題意識

情報の発信源となる移動ノードが実空間上を移動しながら身近なノードに情報を伝達していくことは、情報交換を行う不特定多数の主体同士が情報伝達の媒介となることで情報が広く伝播されていく構図であり、現実社会における口コミや噂などのコミュニケーションモデルに似通っている。特に発信された情報の持つ有益性が特定の個人やグループに限定されない場合、口コミのように人を媒介とした情報流通の形態は、流通の過程において媒介となる不特定多数の人間にも有益な情報とのエンカウンターを提供するという意味では、有効性の高いコミュニケーションモデルと言える。

しかし、このようなコミュニケーションにおいて一旦放たれた情報の行方をコントロールすることは不可能なため、意図せぬ情報の氾濫などを引き起こす場合もある。

上記の問題を解決して、前者のような情報伝播の有用性を享受するためには、情報の二次的な広がりを緩やかにコントロールできる新しい仕組みが必要である。

1.3 本研究の目的

本研究の目的は、発信された情報がそれを仲介するユーザの協調作業によって緩やかにコン

トロールされ、その情報が必要とされる地域や人に伝搬されるための自律的な仕組みを設計し、それによって可能となる実空間上における新しいメッセージ伝達モデルを提案することにある。

そのための具体的なシステムとして仲介者のコンテキストに応じた自律的なコンテンツナビゲーションの仕組みに着目し、これを「Content Cruising System」と名付け、ネットワーク上で実装する。その上でシミュレーションを通じた評価を行い、有効性を検証する。

第2章 局所通信における コミュニケーション

本章では、本研究の対象となる実空間上における局所的な無線ネットワークの特徴、およびその上で想定される情報伝達の形態について、インターネットにおけるコミュニケーションとの比較を通して考察する。

2.1 無線通信の現状

近年の無線デバイスの小型化に伴い、無線による局所通信を可能とする様々な移動計算機が市場に出てきている。今日では屋外を移動するユーザがこのような機能を持った移動計算機（以降「移動ノード」と呼ぶ）を利用することによって可能となるコミュニケーションやサービスなどが多方面において検討されている。本節では、無線通信の現状について考察する。

2.1.1 無線通信の規格

従来の有線ネットワークにおいて、ノードの移動性はケーブルの配線や接続による物理的な制約を受けることになるが、無線ネットワークでは電波での管理になるためノードの移動性における自由度は非常に高い。電波とは、光と同様に電磁波の一種であり、電波法では「300万MHz以下の周波数の電磁波」を電波と定めている。電波資源は有限であるためその利用には免許制が敷かれており、利用する電波の競合や干渉を防ぐために用途や目的に応じた割り当てがされている。

以下に、現在日本で使用可能な無線通信の規格を表す。

Bluetooth

Bluetooth[19]は2.4GHz帯のISMバンド（Industry Scientific and Medical：産業科学医療用に従来使用されていた2.4GHzの周波数帯の電波。使用するのに免許が不要。）を使用した近距離無線の通信規格である。Bluetoothにおける通信範囲は現状の仕様では10m以内とされており、個人が身に付けて持つような機器同士、或いはせいぜい手が届く程度の範囲内（WAN(Wide Area Network)やLAN(Local Area Network)に対してPAN(Personal Area Network)と呼ばれている）を対象としている。

このように近距離を対象とすることにより、心臓部であるチップの小電力（送信時の出力は20～30mW。待機時で0.3mw、スリープ時30μA）および小型化（8mm平方程度）を実現し、ノートPCやPDA、携帯電話から、ヘッドフォンやゲームのコントローラまで様々な機器に搭載することが可能である。

Bluetoothのデータ伝送レートは下り721kbps、上り57.6kbpsの1Mbps。またこの他に音声

専用の 64kbps のチャンネルを使つての音声のやりとりも可能である。

Bluetooth 搭載機器にはすべて、48bit の Bluetooth デバイスアドレスと呼ばれるアドレスが与えられる。また、各 Bluetooth 搭載機器は、タイムスロットの半分の長さである 312.5 μ sec ごとに 28bit のクロック値を出力する Bluetooth クロックを持つ。この機器固有の Bluetooth デバイスアドレスとクロック値を入力として規定された計算を行うことにより擬似乱数列を発生させて、他の Bluetooth 機器と重なることのないホッピングパターンを得ることができる。

無線 LAN

無線 LAN とは文字通り、データリンク層以下の伝送手段として電波による無線接続を用いたネットワーク通信環境である。もともと無線 LAN の規格としては、2.4GHz 帯を使う電波方式の無線 LAN と、赤外線を使う赤外線無線 LAN の 2 種類があった。当初は前者が 2Mbps の伝送速度しかないのに対し、後者は指向性に制約されるものの 10Mbps の伝送が可能であり、赤外線方式を使う場合もあった。しかし、IEEE 802.11b 規格[20]によって、2.4GHz 帯無線 LAN が 11Mbps に高速化され、また周波数も拡大され、4 チャンネル程度まで使用できるようになったため、現在は IEEE 802.11b 対応製品が市場の中心となっている。

IEEE802.11b とは上記のように 2.4GHz 帯上で最大 11Mbps の伝送を実現する標準規格である。変調にはスペクトラム拡散方式を採用し、1Mbps に DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) 2Mbps に DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) 5.5/11Mbps に CCK (Complementary Code Keying) と呼ばれる搬送波の位相差を使った 1 次変調を行い、DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum 直接シーケンス・スペクトラム拡散方式) の 2 次変調で 20MHz の帯域に拡散する。すなわち、実際の通信チャンネルには 4 チャンネル分の帯域を使用しているため、13 ないし 14 のチャンネル全てが利用できたとしても、全く干渉しない通信チャンネルは最大で 4 つしか確保できないことになる。このため、ESS-ID という可変長の識別子を定め、これによる論理的なパーティションの機構を用いることで、ネットワークのセグメント化を図っている。

その他の無線通信規格

上記の他に、局所的な通信を可能にする無線規格にはミリ波、DSRC、IEEE802.11a や IEEE802.11h などの IEEE802.11 ファミリーと呼ばれる規格など様々なものがあるが、現時点で移動ノードに汎用的に装着されている省電力無線デバイスとして上記の 2 つを取り上げた。

2.1.2 無線による局所ネットワークの構成

Bluetooth や IEEE802.11b では、データリンク層における通信接続によって下記のようなネットワークの構成が可能となる。

Bluetooth によるネットワーク構成 (ピコネット)

Bluetooth のネットワークは通信範囲内の最初のデバイスが「マスタ」として機能し、その後からマスタへのリンクを確立したデバイスが「スレーブ」として参加するという形で構成される。マスタはデータ送受信の周波数のホッピングパターンを決定する権利を持ち、スレーブはマスタ

タとリンクを確立することで他のスレーブとデータの送受信を行なう。こうして Bluetooth デバイスで構成されるネットワークは「ピコネット」と呼ばれ、最大 7 台までの Bluetooth デバイスが参加できる。また、マスタは他のピコネットのスレーブになることが可能なため、ピコネット同士をデジチェーン(数珠繋ぎ)接続した「スタッカネット」を構築することも可能である。

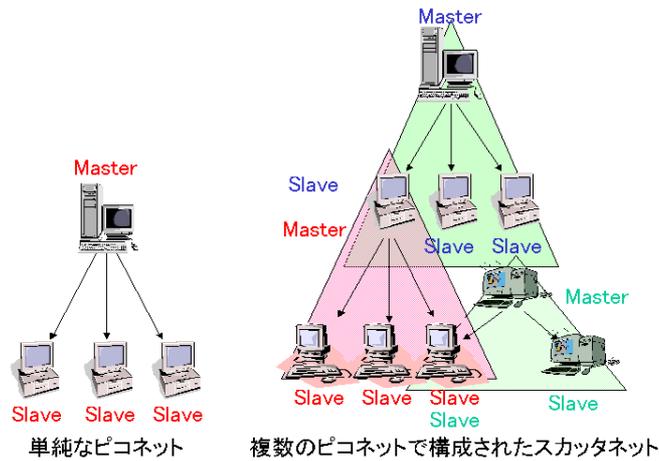


図 1 ピコネットの構成

IEEE802.11b によるネットワーク構成 (アドホックモード)

無線 LAN 環境では、一定の周波数帯域を共有したノード同士は互いの電波到達範囲内において、Ethernet を HUB に繋いだのと同様物理的な接続性を有することになる。これが、アドホック (ad-hoc) あるいはピアツーピア (peer-to-peer) と呼ばれる無線 LAN の運用方法である。

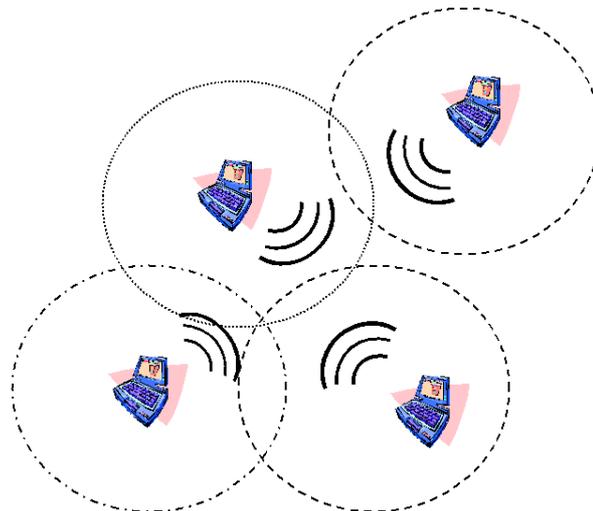


図 2 アドホックモード

Ethernet では、1 つの通信経路を共有するために、CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) というアクセス制御方式が用いられているが、無線 LAN では離れれば弱まるという電波の性質上、送信中のノードが衝突検出を行うことはできない。そこで、受信側の ACK 応答(ACK[ACKnowledge:肯定応答])の有無によって衝突を回避する CSMA/CA

with ACK (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance with ACK) というアクセス制御方式が用いられている。

また、無線 LAN 端末間において相互の距離が電波の届く範囲外にある端末による通信の割り込み (隠れ端末問題) を回避するために、送信に先駆けてこれから送信することを告げる「RTS (送信要求)」と、それに応ずる「CTS (送信可)」を送り合う RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) というアクセス方法が用意されている。

インフラストラクチャモード

アドホックモードでは、互いのノードが電波到達範囲内に存在することを前提として通信が確立する。全ての端末が相互に通信するなら、サービスエリアの範囲内に全てを配置しなければならず、無線 LAN の運用は大変制約の多いものとなる。そこで、携帯電話や PHS の基地局と同じようにアクセスポイントを配置し、アクセスポイント間を、Ethernet 等を使って結ぶ運用形態が用意された。これを、インフラストラクチャモードという。

アクセスポイントは通常、サービスエリア内の端末が外部と通信できるように、内外の中継を行うブリッジとして機能する場合が多く、また携帯電話や PHS と同様に、機器の仕様によっては移動中の端末が各アクセスポイントのサービスエリア間を渡り歩く、ローミングも可能な仕組みとなっている。

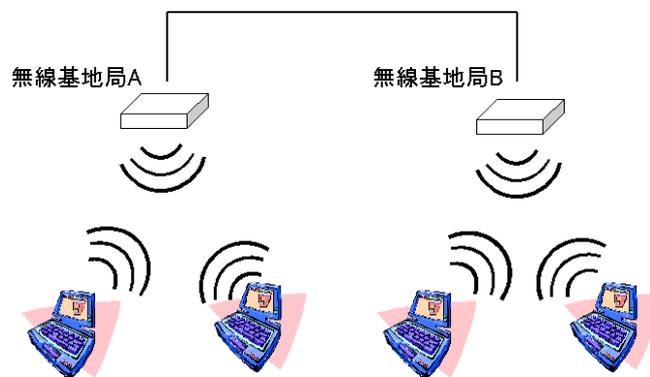


図 3 インフラストラクチャモード

2.1.3 無線による局所ネットワークの特徴

以上のように、無線を用いた局所的なネットワークの形成は OSI 参照モデルにおけるデータリンク層以下の通信モデルであり、Ethernet 等と同様、ノード同士の物理的な直接接続によって形成される。しかし有線による接続と違い配線等の物理的な制約が無いから、屋内外において移動するノード同士が簡単にネットワークを形成することが可能である。そのため、ネットワークは移動ノード同士のエンカウンターによるアドホックな構成となり、ネットワークトポロジーの構成図は一時的であり、再現性を有するものではない。

また電波の物理的な特性から、ネットワークが構成される範囲は電波到達範囲に限られ、データのやり取りは基本的にその範囲内における同報型の通信モデルとなる。

以上の特徴をまとめると、無線による局所ネットワークは以下のような性質を持つといえる。

1. ノードの移動によりリンクが頻繁に接続・切断され、動的にトポロジが変化する。
2. サーバや無線基地局のような集中管理する端末が存在せず、それぞれのノードは同等の機能を持つ。
3. 通信の対象となるノードと直接リンクが接続されていない場合、その中間にあるノードを中継してデータのやり取りを行う。
4. 通信範囲は電波到達範囲に依存するため、地域的な制約を受けることになる。

2.2 インターネット上のメッセージ伝達モデル

インターネットは実世界でのコミュニケーションにおける地理的な制約を取り除くことによって、我々の生活に新しいコミュニケーションの形態をもたらした。インターネットにおいては地理的な距離は等質化されるため、例えば我々は受け手が隣町に住んでいるのか、遠く離れた海外に住んでいるのかを考えることなく、様々なデータの双方向的なやり取りを行うことが出来る。本節では、このように地理的な制約を越えたデータ転送を可能とするインターネットのアーキテクチャについて考察する。

2.2.1 ネットワークトポロジ

インターネットはネットワークのネットワークと称されるように、データリンク層で定義されるネットワーク（つまりノード同士が物理的に接続されているネットワーク）同士を接続することによって構築された世界規模のコンピュータネットワークである。

インターネットのアーキテクチャは TCP/IP と呼ばれるプロトコル体系によって構築されている。IP は OSI 参照モデルにおける第 3 層のネットワーク層、TCP はその上位層である第 4 層のトランスポート層に属するプロトコルである。

IP の果たす主な役割は、アドレスの割り当てと、インターネット上に伝送されるデータパケットの経路制御である。インターネットに接続されたノードには IP アドレスという識別子が割り当てられ、これによって各ノードはインターネット上において一意に識別される。インターネット上に伝送されたデータパケットには必ず送信元と受信先を表す IP アドレスが記載されており、この情報を元にパケットはネットワークを跨いだノードまで中継され、伝搬されることになる。

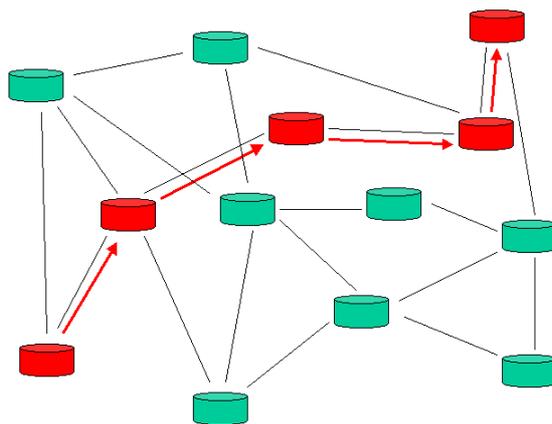


図 4 IP によるルーティングの図

TCP ではこの IP アドレスを元に、ネットワークを跨いだノード同士の論理的なコネクションを確立し、データ転送における End-to-End なやり取りを提供している。

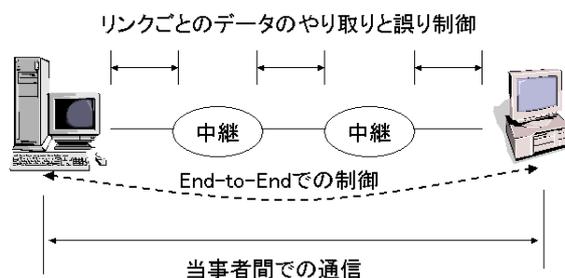


図 5 TCP によるコネクションの図

このように、インターネットでは直接的な物理接続性の無いノードの所在を IP アドレスという識別子によって共有し、論理的なコネクションビリティを提供することで、現実世界における地理的な制約を越えたデータ転送を可能としているのである。

2.2.2 インターネット上のメッセージ伝達

前項では、インターネット上のデータ転送の仕組みについて述べた。

インターネット上に流れるデータには、ルーティング制御用のデータからマルチメディアデータに至るまで様々なものがある。このうち、自分以外の他者に伝達することを目的として発せられたデータを「メッセージ」と呼ぶことにする。

インターネット上においてこのようなメッセージを伝達するサービスの代表的なものとして

は、電子メールが挙げられる。本項では、インターネット上のアプリケーションを利用してユーザが情報を発信するようなメッセージ配信モデルについて、SMTP による e-mail の転送機構を例に挙げながら考察していく。

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

SMTP とは Simple Mail Transfer Protocol の略であり、TCP/IP 上で電子メール・システムを実現するためのアプリケーション層の標準プロトコルとして RFC (Request For Comment) 821/RFC 1869/RFC 1870 の三つで規定されている。

UNIX 上の電子メール・システムは通常、ユーザー・プログラムと配送プログラムから構成されている。ユーザー・プログラムは一般ユーザが使用する電子メールの「エージェント」として機能し、メールの発送や表示を担当する。配送プログラムはこのユーザー・プログラムからメールを受け取り、正しいあて先に配送する。SMTP はこの仕組みの中で、配送プログラムが TCP/IP を使用する場合の標準プロトコルとして、SMTP サーバ間のメール配送の手順を規定する。

SMTP によるメッセージ転送

送信者が作成した電子メールの本文には、MUA (Mail User Agent) によってヘッダが付加される。ここで付加されるヘッダのフィールドの構成は下図のようなものがある。

フィールド名	役割
From	差出人メールアドレス
To	宛先メールアドレス
Cc	カーボンコピーメールアドレス
Bcc	ブラインドコピーメールアドレス
Date	発信時刻
Subject	件名
Sender	送信元メールアドレス
Reply-To	メッセージに対して返事を送るべきメールアドレスのリスト
In-Reply-To	どのメッセージに対する返信かを示す識別子
X-ではじまるもの	その他の情報を表すフィールド

図 6 SMTP のメッセージヘッダ

MUA からメールを受け取ったメールサーバ (MTA = Mail Transfer Agent) は、ヘッダの「To フィールド」に記載されている宛先アドレスのドメイン名を DNS (Domain Name System) に問い合わせ、受信者のメールアドレスを管理しているメールサーバの IP アドレスを取得する。

この IP アドレスを元に、メールサーバは許可されたメールサーバへの転送を繰り返し、目的のメールサーバまでリレー形式でメールを転送する。

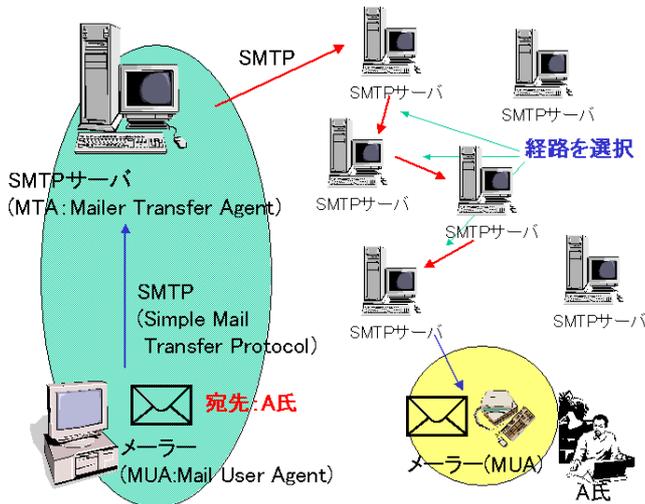


図 7 SMTP によるメッセージ転送

2.2.3 インターネット上のメッセージ伝達モデルの特徴

これまで述べてきたように、インターネット上のメッセージ配信は、基本的には送信者と受信者の IP アドレスが判明していることが前提となった上でのサービスであり、判別された IP アドレスを元に送・受信先のホストは 2 点間のコネクションを形成し、形成されたコネクション中にあるホスト間の中継作業によってメッセージは送り先のノードへと伝搬されていくことになる。

送信者は送信時において受信者の宛先を特定するなんらかの識別子（電子メールの場合は相手のメールアドレス）を指定しなくてはならず、このことはつまり識別子を指定できる既知の相手にしかメッセージを伝達できないということに他ならない。

2.3 局所通信におけるメッセージ伝達モデル

2.3.1 局所通信におけるメッセージ伝達

無線による局所ネットワークにおいても、従来の赤外線通信における vCard、vCalendar[29] などのようなメッセージ交換が可能であり、Bluetooth ではファイル転送プロファイルとして IrDA で用いられていた OBEX[21]と呼ばれるプロトコルが採用されている。

これらは名刺交換のような仕組みであり、無線による局所ネットワークは物理的な直接接続を前提としているため、その場に居る人同士、つまり電波が届く範囲において物理的に接続されたノード同士がメッセージを交換するといった利用方法が中心である。

2.3.2 メッセージ伝達モデルの特徴

局所無線ネットワークでは、電波の到達範囲という物理的な性質によって、地理的に近いノード

ドとのダイナミックなコミュニケーションを実現している。

またノードの移動性といった特徴より、移動途中にすれ違っていく不特定の移動ノードと偶発的なコミュニケーションを図ることも出来る。

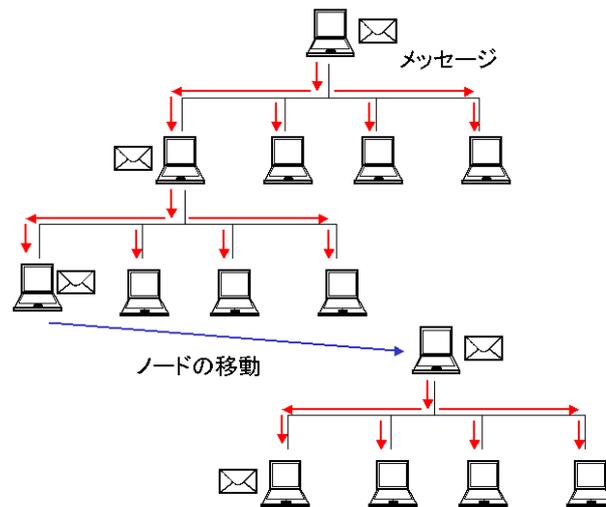


図 8 移動ノードによる局所ネットワーク間のブリッジ

インターネットにおけるコミュニケーションはネットワークに接続されたコンピュータ間での協調作業を通じて始点と終点への伝送路が確立された情報伝搬型のコミュニケーションモデルであるのに対し、このモデルではメッセージ転送における Next Hop 以降の受信者と送信者のネットワーク到達性は確立されておらず、コミュニケーションの発生は実世界における移動ノード同士が会う偶然性に依存する。

またメッセージを受信したノードは自らが送信者となって、新しく出会う移動ノードにメッセージを受け渡すことも出来るため、このようなコミュニケーションの連鎖は自動的に情報配信システムをくみ上げることになる。

このように、地理的に近接したノード同士の偶発的な通信によるメッセージ交換の形態を、本論文では「アドホックなコミュニケーション（または「アドホックコミュニケーション）」と定義する。

アドホックコミュニケーションでは上記のようなコミュニケーションの連鎖を通して、メッセージ伝達における地理的な伝播範囲を広げていく。

第3章 アドホックコミュニケーションの特徴

本研究では 2 章にて考察した無線通信によるアドホックコミュニケーションを対象としたコミュニケーションモデルの研究を行う。本章では、アドホックコミュニケーションについて、現実社会での例などを挙げながらその特徴や可能性について考察していく。

3.1 伝播型情報伝達モデルの考察

アドホックコミュニケーションでは、現実空間上の移動ノード同士が局所無線による近隣ノードへの同報の連鎖を通じてメッセージ Flooding を行っている環境を想定する。以下にその特徴について考察する。

3.1.1 伝搬型情報伝達と伝播型情報伝達

前章で述べたように、インターネットにおける情報伝達はネットワークに接続されたコンピュータ間での協調作業を通じて始点と終点が確立された情報伝搬型の情報伝達モデルであるのに対し、アドホックコミュニケーションは地理的に近接した移動ノード同士の偶発的な通信を元に近隣する不特定のホストに情報を伝播していく情報伝達モデルである。本論文では、前者を「伝搬型」、後者を「伝播型」の情報伝達モデルとして区別していく。

辞書の言葉を引用すると、伝播とは「次々に伝わって広まること<大辞林第二版より引用>」である。同様に伝搬とは「運び伝えること」となっている。これらは一般用語として多義的に用いられ、また専門領域によっても語句としての意味合いが異なるため、本論文ではそれぞれの情報伝達モデルについて以下のように定義する。

伝搬型情報伝達モデル

インターネットでのメッセージ転送では、コミュニケーションの当事者である送信者と受信者は明確に定義され、それぞれの 2 地点を結ぶコネクションの形成により、End-to-End な情報到達性を持つメッセージの伝達が行われる。

コネクションを形成する中間ノードはネットワーク上に固定されていることが前提であり、機能としてはデータ転送以外の機能を持つことはない。

またメッセージの伝達は、送信されたメッセージが送信者から受信者へと到達した時点で終了する。



図 9 伝搬型の情報伝達

このように、送信者と受信者での End-to-End な運搬経路が確立し、送信者から受信者にメッセージが到達した時点でコミュニケーションが完了する情報伝達の形態を「伝搬型の情報伝達モデル」と定義する。

伝播型情報伝達モデル

一方、2.3 節で想定した局所無線ネットワークにおけるメッセージ伝達モデルでは、送信者と受信者を結ぶ接続は形成されておらず、End-to-End な情報の到達性は保証されていない。メッセージは地理的に近接した移動ノード同士の一時的な通信セッションの確立によってメッセージ交換が繰り返され、そのセッションが断絶した後、受信したノードによって次々に他ノードへと伝達されていく。

ここにおいてメッセージの送信者と受信者の間に明確な区別は無く、メッセージを受信したノードは次の通信では送信者となり、新しい受信者に対してメッセージを送信する。

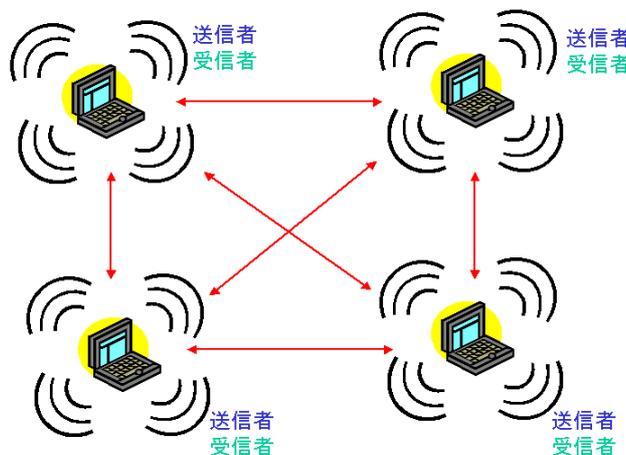


図 10 伝播型の情報伝達

このように、複数の送・受信者が連鎖的・多段的にメッセージ交換を繰り返すことによって、伝達範囲を広げていく情報伝達の形態を「伝播型の情報伝達モデル」と定義する。

3.1.2 現実社会における伝播型情報流通形態

現実社会において伝播型のメッセージ伝達の特徴を持つコミュニケーション形態としては、噂や口コミなどの現象が挙げられる。

噂や口コミなどによる情報流通については各方面において様々な研究があり、それぞれ特徴の定義も異なるが、本論文では人々の口端を伝わってある地域、またはコミュニティーに広がっていく情報伝達のモデルとして捉え、その特徴について考察する。

通信相手を特定しないコミュニケーション

インターネット上のe-mailや日常生活における手紙や電話など伝搬型のコミュニケーションでは、メッセージの送信時点において受信者を明確に特定する。しかし噂や口コミで伝えられるメッセージには特定の送受信者は存在せず、発信されたメッセージの到達先を決めるのはその中継に入る媒介者である。

情報の二次的な広がり

噂や口コミには都市伝説のような地域的な広がりを有するものや、株情報のように特定のコミュニティーによって広がるものもある。このような広がりはそのメッセージを媒介する者の所属する地域やグループによって変化するため、伝播範囲を予想することは非常に困難である。

規制が難しい

上記のように情報の二次的な広がりには予想困難であるため、発生した情報を統制するのはほぼ不可能である。

飛び火する伝播範囲

地域的な広がりには媒介者の移動範囲という物理的な制約を受けるため、一般的に発生場所付近から情報が拡大していくことが多いが、媒介者の遠距離に渡る移動やマスメディアの介入などにより、伝播範囲は飛び火する可能性がある。

伝達のスピードやメッセージの消滅は内容によって変化する

情報の内容によっては特定の時期や地域、またはグループにおいてしか価値をもたない情報も多い。このような情報は媒介者の意思が介入することによって伝達スピードやメッセージの生存時間が変更され、自律的に制御される。

伝送の途中でメッセージ内容は変化する

メッセージの内容は伝達過程において媒介者による変容を許容するため、伝送途中で当初のメッセージ内容が変容したり、また意図的に改竄されて伝わっていくことが多い。

メッセージ内容の確信性は保証されない

送信者が限定されないため、伝達されたメッセージの伝搬経路を逆に辿ることは出来ず、メッセージの内容についての信憑性を確約する責任者を期待することは出来ない。

3.1.3 通信としての伝播型情報伝達モデルの特徴

前項では日常での伝播型の情報流通の特徴をまとめた。このような特徴を通信という分野から見直すと様々な点で示唆に富んでいることに気付く。以下に伝播型の情報流通形態を通信システムとしての観点から捉えた際の特徴についてまとめる。

Peer-to-Peer 型の非接続型の自律分散システム

特定ノード間における情報到達性は保証されないが、伝搬型の情報送信と異なり、中継ノードの故障やネットワーク経路の切断などに依存しないという点では、もっとも確実な伝達方法であるといえる。

また、情報の伝達は Peer-to-Peer 型の通信モデルであり、特定のサービスやインフラを必要としないため、災害等での情報伝達手段としての利用が期待できる。

有益な情報とのエンカウンター

メッセージ伝送過程において、仲介するノード（以降、媒介者と呼ぶ）は受信者でもあるので、媒介者にとってもメッセージを中継する間に有益な情報と出会うことが出来る。

不特定多数への Push 型の情報配信

インターネット上における Push 型のメッセージ配信サービスでは、メッセージの送信時に宛先となる対象を明確に限定しなくてはならず、送信者は送信段階で受信者への情報到達性を保証する何らかのアドレス機構（e-mail アドレスや電話番号など）を知っている必要がある。しかし現実のコミュニケーションでは必ずしも特定の個人やグループといった対象を限定しないメッセージも多い。インターネットにおいて、不特定多数にメッセージを配信するサービスは WWW のような Pull 型の情報開示型のサービスが中心であるが、送信者にとってメッセージの宛先となる個人やグループを特定することなく、情報を配信できる。

媒介者の特性による情報伝達

発信されたメッセージは受信者への到達後、さらにその受信者によって新しい通信相手へと転送されていくため、媒介者の特性を利用した伝搬経路の形成などが期待できる。

以上のように、伝播型の情報伝達は通信分野における新しい情報流通の形態を生み出す可能性を秘めているといえる。

3.1.4 伝播型情報伝達モデルの利用法

伝播型情報伝達が有効とされる利用法としては、以下のようなものが想定される。

不特定多数への情報告知（広告等）
緊急な伝達が必要とされる情報の告知（ニュースや緊急時の避難勧告等）
有事等、特定のインフラを期待できない際の情報伝達

3.2 アドホックコミュニケーションにおける情報伝播の特徴

3.2.1 機能としての有効性

無線通信を利用した計算機通信上で伝播型の情報伝達モデルを行う場合、それぞれの特性に応じて以下のような利点がある。

無線通信としての利点

多数のノードへの一斉配信

無線通信を利用することで、電波到達範囲に存在するノードへ一斉にメッセージを同報することができるため、一度の送信で多数のノードへ情報を配信することが可能である。

情報伝達の速度が速い

無線の通信エリアは規格や使用するデバイス等によって異なるが、前章で挙げた Bluetooth は現状で見通し約 10m 前後、IEEE802.11b は見通し約 100m 前後の電波到達範囲をカバーしており、一回の送信で遠方のノードまで対象としたメッセージ伝達を行う。

また電波到達範囲を越えたノードやネットワークに対しても、中継ノードを通じた間接的なメッセージ伝達が可能であり、このような連鎖により非常に速い伝達速度で情報が広がっていくことになる。

計算機通信としての利点

扱えるデータ量、及びデータの種類の多い

人間の記憶には限界があり、受け取ったメッセージ全てを保存できない。携帯端末などの移動ノードでは、記憶容量の限界はデスクトップなどに比べて劣っているとは言え、当然人間の短期的な記憶よりも遥かに多くのデータ量を扱える。

また計算機の特性を活かし、テキスト以外にも画像・音声・動画など、様々な種類のデータを取り扱うことができる。

メッセージの変容や改竄を防ぐことができる

3.2 で記したように、噂や口コミなどは伝送の過程でメッセージが変容されて伝わっていくことが多いが、計算機通信ではデジタルデータとして取り扱うので、このような変容を防ぐことができる。また、認証や暗号化などの技術を用いることにより、メッセージの改竄を防ぐことも出来る。

3.2.2 問題点

上記のような利点の反面、下記のような問題も生じることになる。

伝播の地理的な広がりやメッセージの流通を制御できない

無線通信では伝播のスピードが人間の伝達スピードに比べて非常に速いことを述べた。このような範囲においてそれぞれのノードがメッセージの伝播を行っていくとすれば、移動性という特徴も伴ってメッセージの伝播範囲は急速に拡大する。また当然メッセージは単純増加現象によって指数的に増殖し、莫大な量のメッセージが溢れ返ることになる以降、このような状況を「情報の氾濫」と呼ぶことにする。

送信するメッセージの消滅

人間同士のコミュニケーションと違い、計算機通信では情報は忘却されることは無いため、データの消滅や送信の取り止めを指定しない限り、メッセージは延々と廻りつづけることになる。

同一メッセージの重複

同様に人は一度聞いた内容を覚え、似通ったものであれば転送しないと意識が働くが、計算機上ではメッセージの内容を判別することはできないので、重複を許してしまう。

3.3 まとめ

3.3.1 アドホックコミュニケーションの可能性

3.3.1 項で示したように伝播型情報伝達モデルは、既存の伝搬型情報伝達では成し得なかったコミュニケーションの形態を提供する。それは口コミなどと同様、メッセージが特徴を持った媒介者の介入によって自律的に適所へと運搬され、送信者が想定し得なかった相手にもメッセージが伝達されるというモデルであり、特定の宛先を持たない地域情報や広告などの伝達には有効なモデルである。

3.3.2 課題点

伝播型の情報伝達は多段的なコミュニケーションであり、現実における噂や口コミなどと同様、送信者の意図（どのような人に伝達したいか、どのような地域に伝播したいか）などは転送過程において反映されず、発信されるメッセージの数は指数関数的な増加傾向を持ち、ただ無秩序に伝播範囲を広げていくことになる。

第4章 研究のアプローチ

3章ではアドホックコミュニケーションの特徴についてまとめた。

本章では、アドホックコミュニケーションの特徴を活かしたコミュニケーションの形態について考察し、その実現のためのアプローチを検討する。

4.1 提案するメッセージ伝達モデル

前章で述べたように、アドホックコミュニケーションは指数関数的な増加傾向を持ったコミュニケーションモデルであり、このモデルにおける情報の伝播は人の移動と無線の特性が伴うことによって広範囲にわたる無秩序な情報の氾濫を引き起こすことになる。

この「無秩序」という言葉の意図するところは、「発信されたメッセージの伝播範囲を誰も予測することが出来ない」ということに他ならない。つまり伝播範囲を予測することさえ出来れば、情報の氾濫を利用して、伝播型情報伝達モデルの特徴を効果的に活かしたメッセージ伝達を行えるのではないかと仮定した。

その一例として、情報の氾濫を一定地理範囲内に抑えることで可能となるメッセージ伝達の形態を想定する。

特定の地理範囲内に存在する移動ノード同士がメッセージを送信しあうことで、メッセージを特定の地域に停留させることが出来る。更にその地域に新たに参入するノードも停留しているメッセージを受信することになるため、特定地域に現在、または将来的に存在するノード同士でのメッセージ交換が実現できる。

これまでインターネットで行われてきたメッセージ伝達モデルが、ネットワーク上に固定されたノード間をメッセージが移動していくことで成立する伝達モデルであるのに対し、このようなメッセージ伝達モデルは地域的に固定されたメッセージを移動するノードが受信していく、いわば地域閲覧型のメッセージ伝達モデルであり、個々のノードは地域にメッセージを残すことによって、不特定多数のノード間におけるメッセージ伝達が可能となる。

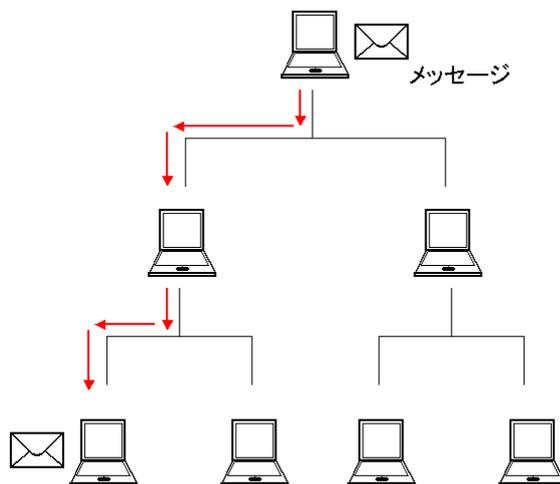


図 11 ネットワークトポロジ上に固定されたノード間をメッセージが移動

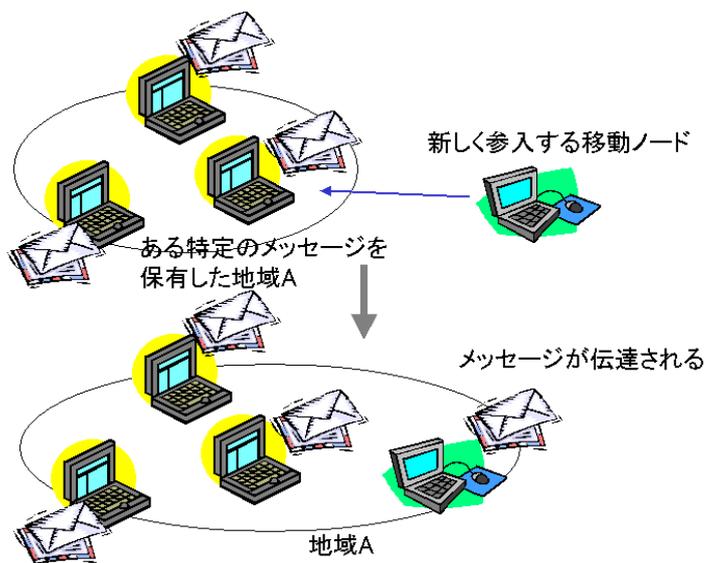


図 12 地域に固定されたメッセージを新しく参入した移動ノードが閲覧

4.2 コミュニケーション環境のモデル化

3章で考察したアドホックコミュニケーションの特徴を元に、本研究の対象となるコミュニケーション環境をモデル化し、前節で想定したメッセージ伝達を行うために必要な条件を整理する。

4.2.1 コミュニケーションの主体と役割

アドホックコミュニケーションは伝播型の情報伝達モデルであり、移動ノードは受信したメッ

セージを次の受信者に伝えていくことによって成立する伝達モデルである。つまりここでの移動ノードは受信者であると同時に送信者の役割を持つことになる。送信者は厳密にはメッセージを作成し送信する最初の「送信者」と、そのメッセージを受信して次の受信者へと送信する二次段階の「送信者」に分かれる。記述上の混同を避けるために、以降、前者を「発信者」、後者を「媒介者」と呼び、区別することにする。

次に、それぞれの役割を定義する。

発信者（発信ノード）の役割

発信者はメッセージを作成した本人であり、メッセージの最初の送信者である。

発信者は発信したメッセージ伝達に対するポリシーを持つ。

<ポリシーの例>

特定の場所にいるノードに伝達したい

特定の時間に消滅させたい、等

媒介者（媒介ノード）の役割

発信者によって送信されたメッセージは、受信者が次の受信者へと連鎖的に転送していくことで伝達範囲を広げていく。この連鎖的な転送作業を行うのが媒介者である。

メッセージ転送に伴う媒介者の役割は以下ようになる。

1. メッセージを受信する
2. 受信したメッセージを保管する
3. 保管したメッセージを送信する
4. 保管したメッセージを抹消する

発信者にとって媒介者は、メッセージの受信者でもあり、発信者の代わりにメッセージを送信する代理人でもある。ただし媒介者自体は発信者と違い、メッセージ伝達におけるポリシーを持たない。

4.2.2 コミュニケーション上の制約

発信者と媒介者はコミュニケーション上において、それぞれ下記の制約を受ける。

発信者側の制約

- ・送信先は指定できない
- ・一度発信したメッセージを後から制御することは出来ない

媒介者側の制約

- ・近隣のノードへ送信する機能しか持たない
- ・自分の置かれている状況（コンテキスト）は自分にしか把握されない

4.3 設計におけるコンセプト

モデル化によって導き出された条件を踏まえ、本研究において設計するメッセージ伝達システムのコンセプトを「メッセージの憑依性と地縛性」という観念の元に統一した。

発信されたメッセージは発信者のポリシーを持ち、媒介者に無作為に憑依することによって運搬され、実空間上を移動する。運搬の過程において媒介者のコンテキストがポリシーに添わないと判断したメッセージはその媒介者から離脱する。特定地域に伝搬されることをポリシーとしたメッセージの場合、目的地点に近づいたメッセージはその地に留まり（地縛）、地域に新しく入ってきた移動ノードに次々と憑依を繰り返すことによって、その地域に停留していく。このようにメッセージ自体に意思があり、移動ノードのコンテキストに応じて送信や消滅等自らの次の行動を決定していくという情報伝達のイメージを想定し、システム的设计を行う。

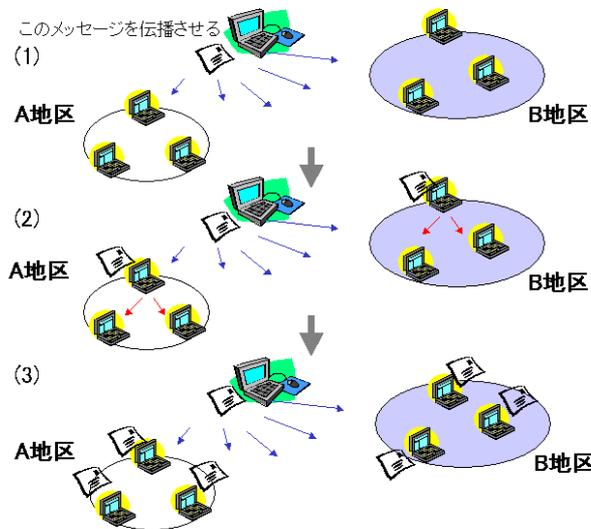


図 13 情報の憑依と地縛

4.4 必要となる機能についての考察

4.2節でモデル化したように、発信者と媒介者の関係は断絶しており、一度発信されたメッセージの処理は媒介者に委ねられることになる。そのため前項のような仕組みを実現するためには、メッセージの処理に対する発信者のポリシーが全ての媒介者において共有され、且つそれに基づいた自律的な制御機構が全体として働いている必要がある。そのために必要な機能を以下に考察する。

発信者の目的を反映した転送ルール

アドホックコミュニケーションでは、一度発信されたメッセージは発信者との到達性を持たないため、発信者のポリシーはメッセージ自体に付帯して伝えられる必要がある。そのため、作成されたメッセージにはメッセージの内容の他にメッセージの転送や消滅における制御ルールが記載されることとし、メッセージを受信した媒介者はこのルールを元にして自律的な情報転

送を行うことが要求される。

ユーザコンテキストの設定

発信者のポリシーをメッセージの転送作業に反映していくためには、ルールの設定が必要なことを述べた。想定したモデルでは、ノード間のメッセージ交換に際し、相手ノードの状況を考慮した通信は行われず、受信されたメッセージは受信したノードにおいて自律的な処理が行われることを前提としているため、発信者は媒介者の将来的なコンテキストを予測した上で、ルールの設定を行う必要がある。媒介者のコンテキストを決定する指標として、下記の情報を想定する。

位置情報

アドホックコミュニケーションにおける情報の伝播範囲はノードの移動性に大きく影響されるため、媒介ノードの位置情報は転送ルールを設定する際に最も重要なコンテキストである。本システムにおいて移動ノードは自分の現在地情報を取得できる機能を有し、そこで得られた位置情報を元に転送における自らの役割を決定することが出来ることを前提とする。

時刻情報

先に転送ルールは媒介ノードの現在状況によって自律的に変化する必要があることを述べた。しかし、ここで「現在」という定義はあくまで最初の送信者によって定義されるものであり、転送作業の最中にも時間は経過しているため、「現在」という定義は明確に指定する必要がある。媒介ノードは位置情報と共に現在時刻を把握している必要がある。

属性情報

他に媒介ノードは自分の属性を告知し、転送ルールに反映できるものとする。属性情報はユーザ定義とし、最初に設定された情報を保存する。

このうち、位置情報と現在時刻は絶えず変化するため、システムの実装においては一定時間ごとにコンテキストを計測し、定められたルールから起動される各プロセスのスケジュールを管理する機能が必要となる。

4.4.2 自律ネットワーク上の Cache 機構

4.1 で想定したモデルでは、メッセージは一定の地理範囲において停留する。想定する環境においてはデータベース機能を持つサーバなどの存在は想定していないため、伝達されたメッセージは受信した移動ノード間で保管され、相互的な通信を通じて伝播範囲内に存在するノードによって共有・蓄積される機構を設計する必要がある。

4.4.3 同一メッセージの識別

2 章で述べたように、局所無線による通信は電波到達範囲における同報型の通信方法（セル・ブロードキャスト）であり、セル中のノード同士で同一メッセージを無限に送信し続けてしまう可能性（これを「メッセージのピンポン送信」と表現する）がある。このような状態は通信上のリソースを無駄に消費し、有効なメッセージの送信を妨害することになる。

本設計においては、メッセージの送・受信者の間に明確な区別は無く、全てのノードは等質に扱われる。インターネット上のメッセージ転送では送信元と受信先による End-To-End なやり取りなので、その両端においてメッセージが識別されればピンポン送信の問題は無いが、本設計においては、発信されたメッセージは送信者の手を離れ、不特定のノード間において次々と転送されるため、メッセージに対する宛先が一意に定まることはない。このため、メッセージ自体を全ての媒介者が一意に識別できるような機構が必要である。

第5章 関連研究

本研究における設計目標は、アドホックコミュニケーションによって生じる情報の氾濫を、媒介者のコンテキストを利用することで地理的、時間的にコントロールする自律的な機構を提供することにある。下記に関連研究を挙げ、設計するシステムの意図を明確にしておく。

5.1 特定地域における情報配信モデル

設計するシステムでは、特定地域におけるメッセージ送信の仕組みを提供する。現在では GPS の普及などに伴い、地域をベースにした様々な情報配信サービスの研究が行われている。以下にその研究例を挙げて比較する。

ロケーションベースサービス

GPS 等による位置取得機能を用いて、その地域にいるノードに情報を配信するサービスは「ロケーションベースサービス」と言われている。これには携帯電話のセル ID を利用したポジショニングサービスや、カーナビゲーションなども含まれ、GPS やセル ID で取得された現在位置情報をキーとして、身近にあるサービスや施設などを引き出して告知するような情報配信型のサービスや、現在位置を地図に表示するといったナビゲーションサービスなどがある。

これらは、ユーザの位置情報を元に予め蓄積されたデータを配信するといった一方的なサービスであり、本システムが目標としているようなユーザ同士のコミュニケーションを実現できるものではない。

無線基地局によるセル・ブロードキャスト

無線電波という同報型の通信を利用し、基地局の電波到達範囲内にいる無線機器に広告や地域情報を配信するサービスとして、無線基地局によるセル・ブロードキャストがある。これには J-Phone[22]が携帯電話向けに行っている J-Sky サービスなどがあり、同じ無線基地局につながった携帯電話に対してメッセージ同報サービスを行っている。無線電波という特性から、これらは必然的に地域的に限定されたサービスとなり、前項で挙げたロケーションベースサービスなどに利用されている。

このようなサービスの中には、ユーザが特定地域にいる他のユーザに対してメッセージを同報するようなサービスも存在するが、無線基地局の電波到達範囲という既に決められた中での同報しか出来ず、任意の地点を設定したコミュニケーションを行うことは出来ない。

スペースタグ

地域や時間を限定することによって、一定地理範囲内、または一定時間内における情報交換を想定した研究として、香川大学の垂水教授達による「スペースタグ」[23]が挙げられる。これは特定の地域や時間になると携帯端末などにオブジェクトが表示されることにより、実空間におけるユーザ活動と通信におけるコミュニケーションを連携させる仕組みである。

これは地域や時間を限定した情報交換という意味では、本研究の目的との共通点は多いが、スペースタグではネットワークへの接続性が前提となった上でのサービスであり、初めから地理的・時間的な制約の無い情報に敢えて制約を加えることによって成立しているモデルである。本研究が対象とするアドホックコミュニケーションは、無線による近隣ノードとの物理接続性しか持っておらず、通信の段階ですでに地理的な制約を持っているという点が最も大きな違いである。

5.2 不特定多数のユーザを対象とした情報共有・交換

P2P 型のファイル交換モデル

設計したシステムでは、不特定多数のユーザ間でのメッセージ交換モデルを想定している。このような仕組みをインターネット上で実現しているサービスとしては、Gnutella[3]やFreenet[24]などのP2P型ファイル交換サービスなどが挙げられる。これらはファイル取得に対するリクエストを送信する際に、本論文の3章で定義した伝播型の連鎖的なコミュニケーションを行っている。つまりファイル検索の依頼を受けたノードが、更に違うノードに検索を依頼することによって、リクエストは一番初めの送信者の認知していない相手へと送られていくことになる。ただし、これらはネットワークの接続性がEnd-To-Endで保証された上での情報伝播であり、発信された情報は発信者との接続性を保っている点で、本研究の対象としている伝播型の情報伝達とは異なる。

モバイルエージェント技術

このような不特定多数のユーザにおけるコミュニケーションをよりインテリジェントな機構において実現していこうとする研究として、モバイルエージェント技術[16]がある。モバイルエージェント機能を持ったアプリケーションはノード間を移動しながら、移動先のノードで処理を行っていくという自律的な移動能力を有している。ただし、アプリケーションが移動するためには複雑なルールが必要であり、またそのようなルールの設定は開発者依存となる。Content Cruising Systemは各ノードの機能を限定することで、その機能を利用する際のルールを発信者が自由に定義することが出来るという点に重点を置いて、設計を行う。

第6章 Content Cruising System

6.1 システムの概要

Content Cruising System とは、発信されたメッセージが媒介する移動ノードの転送作業を通じて、対象となる媒介者の間に共有されていくことを目的としたメッセージ伝達システムである。

本システムは自律分散型の協調システムであり、移動ノードに実装されたサーバント同士が協調的な送信作業を行うことによって全体的な情報伝達システムが完成する。

6.2 想定する利用者像

本システムは、局所無線通信が可能なデバイスを有す移動体計算機を持ち、実空間上を移動しているユーザを対象とする。またその移動体計算機は GPS (Global Positioning System) 等で自らの現在位置と現在時刻を把握できる環境に在るものとする。

6.3 サーバントアプリケーションの構成

各移動ノードに実装されるサーバントアプリケーションの構成は以下のようになる。

6.3.1 メッセージ作成部

メッセージ作成部では、作成されたメッセージに対して、その転送ルールに必要なメタデータをヘッダ部に記載する。このメタデータを「COMPASS (Common Message PASSing Sheet)」と名付けた。COMPASS に記載されるデータフィールドは以下のようになる。

COMPASS のデータフィールド

(*は自動的に付加。それ以外は作成者によって定義される)

フィールド名	役割	ユーザ指定
MessageID	同一メッセージの認識・ループの防止	×
Event&Rule Number	ルール番号	
Latitude (Dist)	伝播範囲の緯度情報	
Longitude (Dist)	伝播範囲の経度情報	
認証キー	受信者の認証とメッセージの秘匿	
Latitude (Event)	特定範囲におけるイベント	

Longitude (Event)	特定範囲におけるイベント	
Time (Event)	特定時刻によるイベント	
Time of Extinction	メッセージの消滅時刻	
Interval Time Patarn	次回送信までの待ち時間	x

図 14 COMPASS のデータフィールド

6.3.2 受信部

ノードは、移動しながら電波到達範囲内に同報されるメッセージを自動的に受信する機能を持つ。エージェントは起動すると他のエージェントからのメッセージを受信するためにスレッドを生成し、受信用のポートを開いて他ノードからのメッセージ送信を待つ。

6.3.3 コンテキスト監視部

コンテキスト監視部は、一定時間ごとに自分の現在状況（コンテキスト）を監視する。コンテキストとして取得する情報は、下記の3つを設定した。

- 現在位置情報
- 現在時刻
- 属性

このうち現在位置情報と現在時刻は時系列で変化していくコンテキストであり、前者は GPS、後者は計算機に実装されている時計機能を一定時間ごとに計測することによって情報の更新を行う。属性はユーザ定義とし、最初に設定された情報を保存する。

コンテキスト監視部は、取得されたコンテキストと COMPASS のフィールドを参照して受信したメッセージに対するスケジューリングを行い、このスケジュールに基づいて各モジュールのアクションを決定する。

6.3.4 蓄積部

蓄積部は受信したメッセージを、COMPASS に記載されたルールとコンテキスト監視部で取得されるコンテキストとを参照し、蓄積、または廃棄の処理を決定する。

蓄積されたメッセージはコンテキスト監視部によってスケジューリングされ、コンテキスト監視部によって取得された状況と COMPASS の条件がマッチした段階で各モジュールに転送する。

6.3.5 送信部

送信部は、コンテキスト監視部によって蓄積部から転送されてきたメッセージを、近隣の通信相手に送信する役割を担う。

6.3.6 表示部

メッセージ表示部は、蓄積されたメッセージを、COMPASS のルールに従ってディスプレイに表示する。

6.4 モジュール間のプロセス

各モジュールにおけるプロセスとデータフローは下図のようになる。

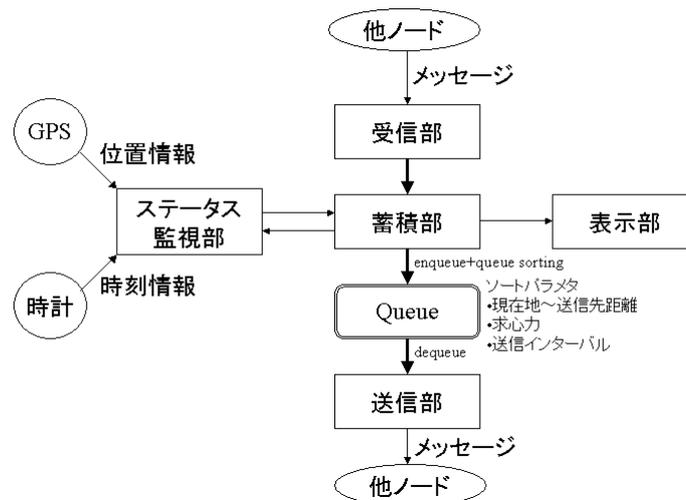


図 15 モジュール間のデータフロー

6.5 ルール設定と送信方法

6.5.1 ルールの設定

本モデルにおいては、発信されたメッセージは送信者の手を離れ、受信者側のノードによって連鎖的な送信が行われていくことになる。このため、最初の送信者の意図がメッセージ転送に反映されるためには、メッセージ自体に転送のルールを記述しておく必要がある。次の送信者となるノードは、このルールを元に送信作業を行うことによって、最初の送信者の意図の元にメッセージが自律的に転送されていくシステムが実現することになる。

転送ルールには、「これを受信した（または保有している）ノードがどのような状態のとき（トリガー）、どのような振る舞いをするか（アクション）」というイベントの発生と内容を定義するものであり、

トリガーとなるコンテキストの指定 **指定されたコンテキストにおける媒介者のアクション**
という形式を取る。

サーバントの各モジュールはステータス監視部から読み取れる状況（コンテキスト）がトリガーとして、それに応じたアクションを起こす。

<例>

ユーザがAの位置に入ったとき メッセージを送信する

ユーザは11時になったら メッセージを消却する

トリガーの設定

トリガーとなるコンテキストはコンテキスト監視部における取得データが元になり、本システムでは下記の3種を想定している。

Number	COMPASS 記載のトリガー	コンテキスト監視部で取得されるデータ
	特定地域	現在位置
	特定時刻	現在時刻
	特定の属性	本人の属性

アクションの設定

トリガーに応じて引き起こされる各モジュールのアクションは下記のようなになる。

送信部

- ・プリセットされたインターバルタイムに基づき送信する
- ・送信しない

表示部

- ・ディスプレイに表示
- ・消す

蓄積部

- ・メッセージを破棄する
- ・保管する

なお、本システムにおいては局所無線等による同報型の通信を前提としているため、受信部については受信したメッセージを絶えず受け入れることとする。

特定時刻を対象とした場合のルールの例

ルール No.	トリガー	送信部	表示部	蓄積部
1	現 在 地	送信する	表示する	保管する
2		送信する	表示する	保管しない
3		送信する	表示しない	保管しない
4		送信しない	表示しない	保管しない
5		送信しない	表示しない	保管する
6		送信しない	表示する	保管する

6.6 インターバルタイムの設定

本システムは媒介ノード同士の多段的なメッセージ送信の連鎖による情報の氾濫を、発信者の意図に応じてコントロールすることによって可能となる、新しいメッセージの伝播モデルを確立することにある。ユーザコンテキストに応じた自律的な送信規制を行うことによりメッセージの増加傾向を防ぐことで、メッセージの伝播範囲を予測範囲内に抑えることは可能であると思われるが、それ以前に問題となるのはまずメッセージを受信する媒介者の数が増加傾向を辿るかどうかの確率である。もし増加傾向を辿る以前に抑制が始まってしまうとするならば、メッセージの伝播自体が発生しないことになる。つまり本システムではまず増加現象の発生するための確率を上げ、一方でその増加傾向を抑制するといった方法を取るようになる。

多段的なメッセージ送信では、メッセージを受け取る媒介者と送信されるメッセージは正の相関を取り、共に指数関数的な増加傾向を辿る。もし受信した媒介ノードの送信に「一回のみの送信」というような回数の制限があった場合、増加傾向に移行するかどうかは、初期段階における送受信の成功率によって決定されるはずである。

送受信の成功率を N とすると、 N の値は「移動体ノード同士が互いの電波到達範囲に入る（出会う）確率（ C ）」と「出会ったときにメッセージ送信が行われる確率（ F ）」と「送信されたメッセージを受信者が受け取る確率（ G ）」の積となる。

$$N=C \cdot F \cdot G$$

今回の設計では、受信者は全てのメッセージを受け取ることを前提としているため、 G は 1 であり無視することが出来る。また、 C は対象となる実空間における人口密度や人々の移動パターンなどによって定まるので、こちらも定数となる。よって、システムとして変化できるパラメータは F に限定され、この確率を高めることが単純増加傾向に移行するための条件となる。この確率 F として本システムで設定できるのは、特定された範囲内・時間内においてメッセージの送信回数を増やすこと、つまりインターバルタイムの短い連続した送信アクションを取ることのみであり、次回送信時までのインターバルタイムを調整することにより、メッセージ送受信の成功率を操作する。

6.7 ルール設定と予測される伝播形態の仮説

6.7.1 時刻をトリガーとしたメッセージ伝播

メッセージ送信の流れ

発信者は特定の時刻を送信時刻に設定し、周囲のノードにメッセージを Flooding する。メッセージを保有した媒介者は、発信者の指定した時刻になると、保有していたメッセージを周囲の通信可能なノードに送信する。

ルール設定例

トリガー	送信部のアクション	表示部のアクション	蓄積部のアクション
開始時刻	送信する（一定）	表示する	保管する
終了時刻	送信を止める	指定なし	指定なし

予想される伝播範囲

メッセージの伝播範囲は、二次的な送信者となる媒介者の移動範囲によって地理的な伝達範囲が決定する。ノードが移動することを前提とすると、移動範囲は次の送信までのインターバルの長さによって変化する。そのため、ノードが移動することを前提とすると、受信してから一定時間を経過した後に Flooding を開始することにより伝播範囲は飛び火し、広範囲にわたる情報伝播が可能となると思われる。

想定される用途

広範囲における一時的な配信を目的としたものであり、被災地等における情報伝達などに利用できると考える。

6.7.2 属性をトリガーとしたメッセージ伝播

メッセージ送信の流れ

発信者は特定の属性をメッセージの Destination に設定する。その属性を持った媒介者は、発信者の指定した時間にメッセージを周囲の通信可能なノードに送信する。

ルール設定

トリガー	送信部のアクション	表示部のアクション	蓄積部のアクション
目標時間内	送信する（一定）	表示する	保管する
目標時刻外	送信を止める	指定なし	消却する

予想される伝播範囲

特定の属性を持った媒介者の移動範囲を利用した情報の伝播であり、伝播範囲にもその特徴が表れると思われる。例えば、新聞配達人という属性に対して集配時間に送信するような設定を行うことで、町中の住居に情報を配信する、などが考えられる。

想定される用途

特定の属性を持った媒介者の移動特徴を利用した広告やコミュニティーへの告知。

6.7.3 位置情報をトリガーとしたメッセージ伝播

位置情報をトリガーとしたメッセージ伝播では、6.6 節で述べたインターバルタイムによる調整によって、以下の二つのメッセージ伝播を想定した。

地域限定型のメッセージ伝播

伝播範囲を決定する最も簡単な方法は、媒介者がメッセージを送信する範囲を一定の地理範囲に限定することである。つまり特定の地理範囲を絶対値で定め、その範囲を出た媒介者はメッセージを送信しないというルールを設定することで、伝播範囲は定められた範囲以上に広がることはなくなる。

このように特定の地理範囲内のみにおいて、一定のインターバルタイムで送信を繰り返すことを「地域限定型のメッセージ伝播」と定義する。

地域限定型のメッセージ伝播は、範囲内に媒介者が絶えず存在しつづけることによって、次にその範囲に入ってくる移動ノードへもメッセージが伝わることになる。しかしこの方法では、定められた範囲内において他の媒介者にメッセージを送信できなかった場合はメッセージ自体が消滅することになる。

地域停留型のメッセージ伝播

次に、伝播範囲を相対値によって定めることを考える。ここでは、目的地点からの移動ノード

までの距離に比例して送信の回数に差を付けることを検討し、この度合いを「情報の求心力」と定義した。求心力が高い地域にいるノードはメッセージを受信する確率が高くなり、逆に求心力が低い地域ではメッセージを受信する確率は下がる。

地域停留型のメッセージ伝播の場合、情報の求心力は COMPASS に記載された目標地点からの移動ノードまでの距離に比例することとし、中心に向かうほど求心力は強くなる。求心力の大きさを表現すると下図のように地図における等高線のような構図となる。

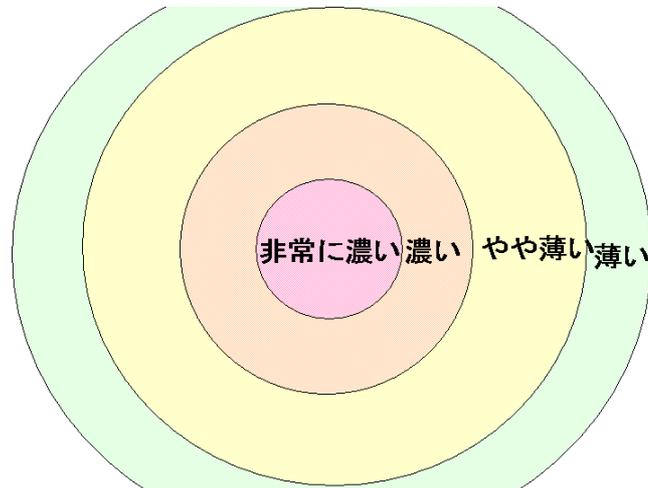


図 16 情報の求心力

情報の求心力は目的地点からの距離によって測定されるものとし、目標地点から各範囲への相対的な求心力の度合いを下記の式によって求めることにした。

地域停留型の送信アルゴリズム

$$f(x)=e^{-x}$$

e は exponential

x は目標地点からの距離

f(x)は情報の密度。この値が大きいほど情報密度が高い状態となる。

メッセージを受け取った移動ノードは、メッセージの目的地点に近づくほど次の送信までのインターバルタイムを短くすることによって目的地点付近での Flooding を活発化し、その範囲における情報密度を自律的に高めていく。よって、インターバルタイムは $f(x)$ の逆数によって表すこととした。これによって最小値となるインターバルタイムと、それが半減値となる r (目的地を中心とした半径) の値を設定することにより、各地点におけるインターバルタイムが定まることになる。目的地点から遠ざかるほどインターバルタイムは長くなっていくが、送信を止めることはないので目的地点付近に媒介者がいなくなったとしてもメッセージ自体が消滅する可能性は少ない。

求心力とインターバルタイムのグラフ

地域限定型と地域停留型の送信アルゴリズムを表すグラフは、下記のようになる。

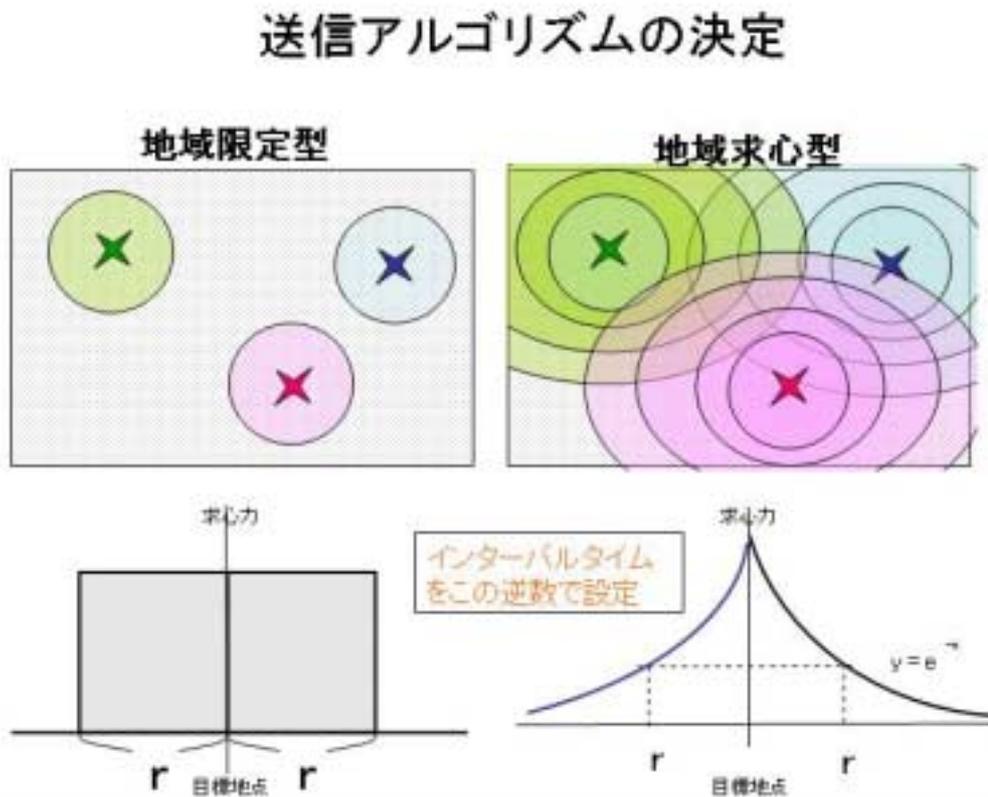


図 17 送信アルゴリズムの決定

6.8 その他の機能

6.8.1 メッセージの消却

受信したメッセージは蓄積部の queue において、新しく受け取ったメッセージほど最後尾に挿

入されるようになっている。蓄積部の queue は First in First Out の形式にのっとり、古いメッセージから削除されていくものとし、これによって新しく受け取ったメッセージほど最後に消却されることになる。移動ノードのメモリ容量にはまだ限界があるため、メッセージの消却は COMPASS に特別な指示が無い限り、この方式で消却されることが望ましいと考える。ただし、メッセージの無用なループを避けるために、必要に応じてメッセージの最長生存時間を定めることを検討する。

6.8.2 受信者の特定

本システムは、メッセージのディスティネーションは特定の個人ではなく、特定の地域や時間による指定となる。このため、個人に対するメッセージ到達性はその個人が伝播範囲に存在するかどうかに関係なく、その範囲においてはメッセージが同報されることになり、不特定多数によって共有される。そのため、特定の受信者（個人、またはグループ）を対象としたメッセージに対しては、鍵技術等の暗号化技術を用いることにより、メッセージの秘匿性の維持、及び認証を実現する。

6.8.3 MessageID の決定

MessageID の決定には、ハッシュ関数などを使って、ID が重なる可能性を少なくすることで対処する。ID の衝突は使用する Hash 関数に依存する。Hash 関数を決定する場合はこの点と性能を考慮する。

現状では、性能では 128bit ハッシュ関数である MD5[15]を、安全性ではより長い 160bit のハッシュ値を生成する SHA1[14]を利用すべきである。特定のハッシュ関数の仕様に依存することはないため、その時点で最適なものを利用することを考える。

第7章 シミュレーションによる予備検証

設計した Content Cruising System は自律分散型のシステムであり、実空間上を移動するサーバ同士との協調作業によって全体的なシステムとして完成する。実空間で想定される利用環境では、ユーザの移動や地理的な条件など不確実な要素が多いため、状況に応じたパラメータの設定は経験を元に行われる必要がある。

本章では、設計したシステムを人の移動を考慮したシミュレーション上で試行する事によって、前章において設定した送信アルゴリズムが予想した伝播範囲に正しく反映されているかについて検証を行う。

7.1 シミュレーションの目的

設計において、一定のインターバルタイムごとに送信を行うものと、目標地点までの距離に応じてインターバルタイムを変化させていくものの 2 種類の送信方法を設定した。前者は特定された地域範囲内のみメッセージ送信の回数を最大限に上げることによって伝播範囲を明確に規定するものであり、後者は目的地点との距離に比例して送信回数を増加していくモデルである。インターバルタイムの調整はあくまで送信側の設定であり、特定条件に応じて送信回数を増やすことで、その条件下に存在する移動ノードへの受信確率を上げることが期待している。

そのためシミュレーションでは、送信側のアルゴリズムで想定した通りにメッセージ受信が行われているかを検証する。

また、上記の 2 種類の送信アルゴリズムをそれぞれ人口密度や流動性が異なる環境で実行することで、対象となる舞台条件の違いが全体にどのような影響を与えるかを検証する。

7.2 環境の設定

シミュレーション環境としては、下記の要素に着目し、それぞれについて指標を定め他の試行との比較を行った。

人の移動モデル

実空間上の人の動きは場所や障害物の存在などによって様々異なり、非常に不確実性の高い要素である。本研究の主眼は電波到達範囲を元にした移動体同士のエンカウンターにあり、最も重要なのは異なる移動体同士が一定時間にどのくらいのメッセージの送受信を行えるかにある。そのため、人の移動パターンについては特殊な条件を付けず、シンプルな定義をすることが本シミュレーションにとって望ましいと考え、一定の地理範囲内における Random Walk とした。具体的にはピンボールと同様、舞台上を任意の方角に向かって移動し、壁にぶつくと進入角度に対する反射角度に方向を変えて跳ね返る。

なお移動速度に関しては、現実的な人の平均移動速度（時速 4～6km）を元にして、計算の都合上、時速 5.4km に合わせることにした。

舞台

舞台はヨコ×タテが 1200pixel×1050pixel の 2 次元空間を想定し、人は 20fps で 10pixel 移動する。またメッセージのディスティネーションとして対象となる範囲は目標地点 (A,B,C の各点) を中心とした半径 (R) 70pixel の円内とした。

これを人の平均移動速度を元に実時間と実空間の縮尺に換算すると、それぞれの単位は下記のようなになる。

Simulation	Real World
20f/sec	10sec
1pixel	1.5m
R=70Pixel	105m
Personal Radio Area=30pixel	45m
1200pixel × 1050pixel	1800m × 1575m

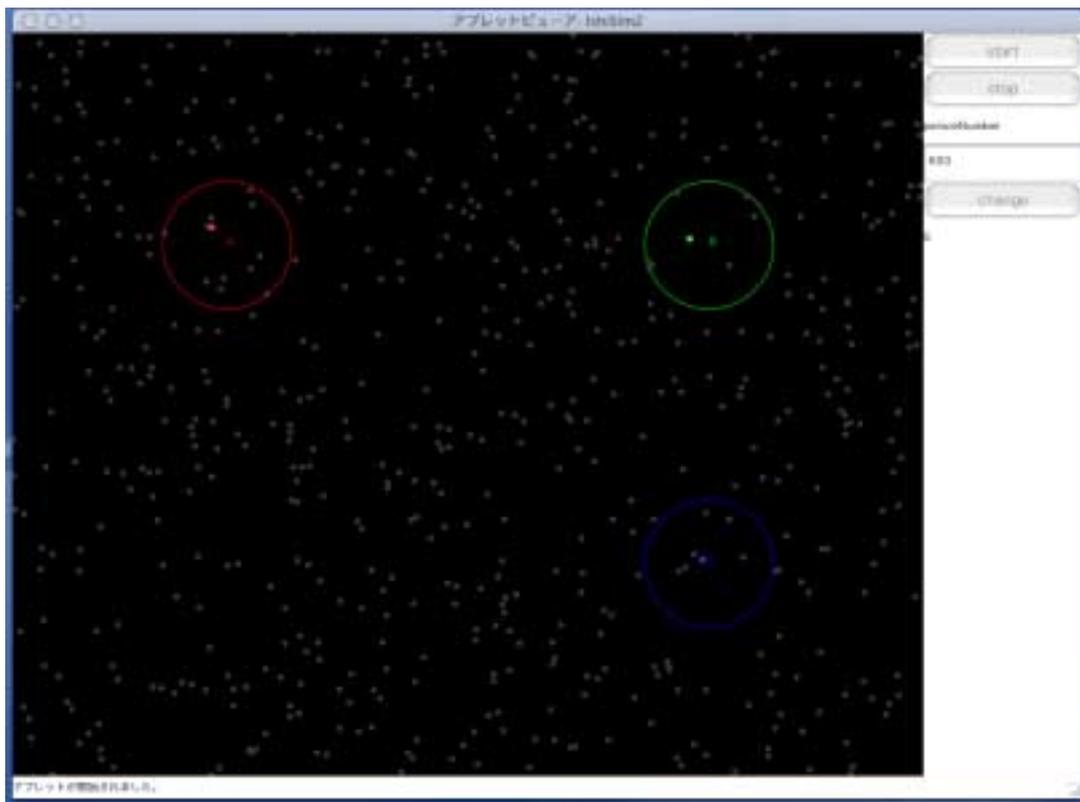


図 18 舞台のスクリーンショット

人口密度

人口密度については過疎の場合と過密の場合を想定した。

これによって人口密度が低い場合と高い場合の相違を検証する。

人口流動性

SFCのように、一度入ると中々外に出ないような環境を「閉じられた環境」、駅の改札のように人々の移動が激しく、出た人に対してまたすぐ入ってくるような環境を「開かれた環境」と定義した。またそれぞれの度合いを表す指標を「人口流動性」として定義し、参入者と退出者の割合を「人口流動率」という単位で出した。

人口密度は一定としているため、100%は参入者と退出者の割合が1:1の関係（つまり、一人入ると一人出て行く）であり、0%は参入者も退出者もない状況を表す。

今回の実験では、下記の2パターンを測定した。

100%

0%

前者は壁に当たり跳ね返ったものは全て履歴を初期化することによって新規参入者と見なすことによって、人々が舞台を留まることなく通り過ぎる開かれた環境を設定し、後者は逆に舞台内において長時間留まっている閉じられた空間を設定した。

電波到達範囲

使用する無線機器によって移動体同士の電波到達範囲は異なるが、今回は縮尺の関係上、各ノードの通信範囲を45mと定めて実験を行った。

送信アルゴリズムの設定

本システムでは特定地点における情報の求心力を次回送信時までのインターバルタイムで規定した。インターバルタイムの最小値は100msecとし、下記の2つのパターンを設定した。

地域限定型の送信アルゴリズム

目標地域内（目標地点から半径 r の円内）において、インターバルタイムを最小値にした場合。

地域停留型の送信アルゴリズム

目標地点と移動体の現在地との距離を指数関数のグラフである ($Y=e^{-x}$) の X の値に代入し、この逆数を次回送信時までのインターバルタイムとした場合。つまり目標地点からの距離と相対的な度合いによってインターバルタイムを設定する場合であり、ここでは目標地点からの半径 r に対して $1/2$ の半減値を取る指数関数として定義した。

7.3 検証内容

7.2 節で記した環境を元に、以下のような実験を行った。

舞台に A,B,C という3つの目的地点を設定

各地点における一定時間内（実時間で17時間分）のメッセージの受信確率を割り出した

これらの値をもとに、その地域における人口密度や人口流動率によって、想定したインターバルタイムの違いによる伝播形態と実際のメッセージの受信確率の間にどのような差があるのかを検証した。

7.3.1 仮説

受信確率と情報の求心力の度合いは同じものと仮定して送信のアルゴリズムを設定したため、各地点における受信比率は情報の求心力と同様、それぞれ下記のようなグラフになるはずである。

情報の求心力

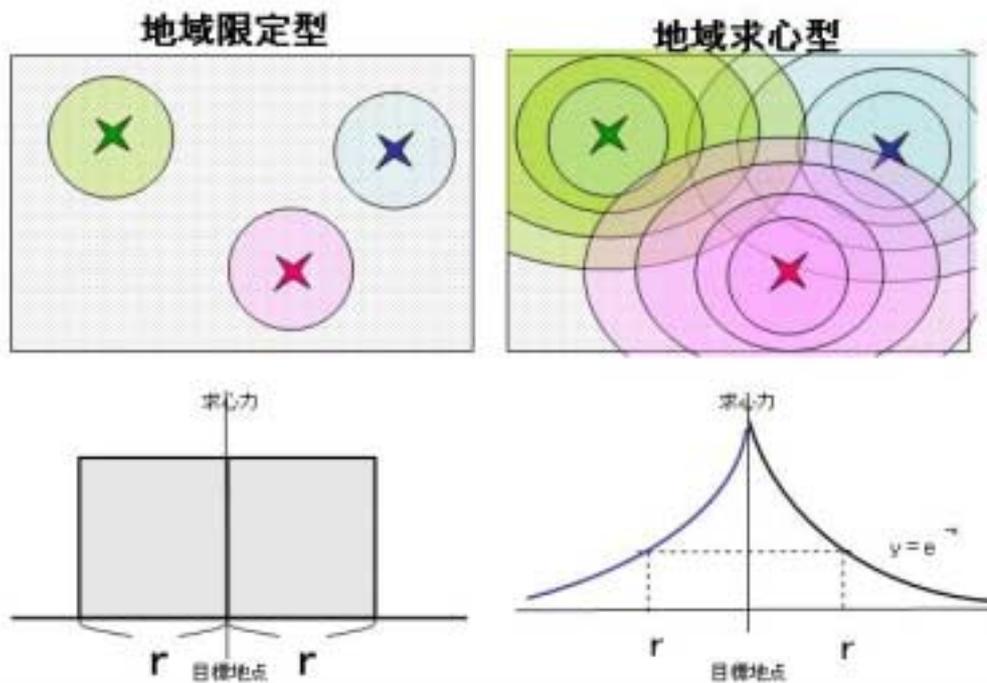


図 19 目標地点付近の情報の求心力のグラフ

7.4 シミュレーションの結果と考察

各地点における受信比率

各地点における受信比率は、下記のグラフのようになった。

グラフは(0,0)が中心。X軸は中心からの距離を表し、Y軸は各地点ごとのメッセージ受信数を比率に直したものである。

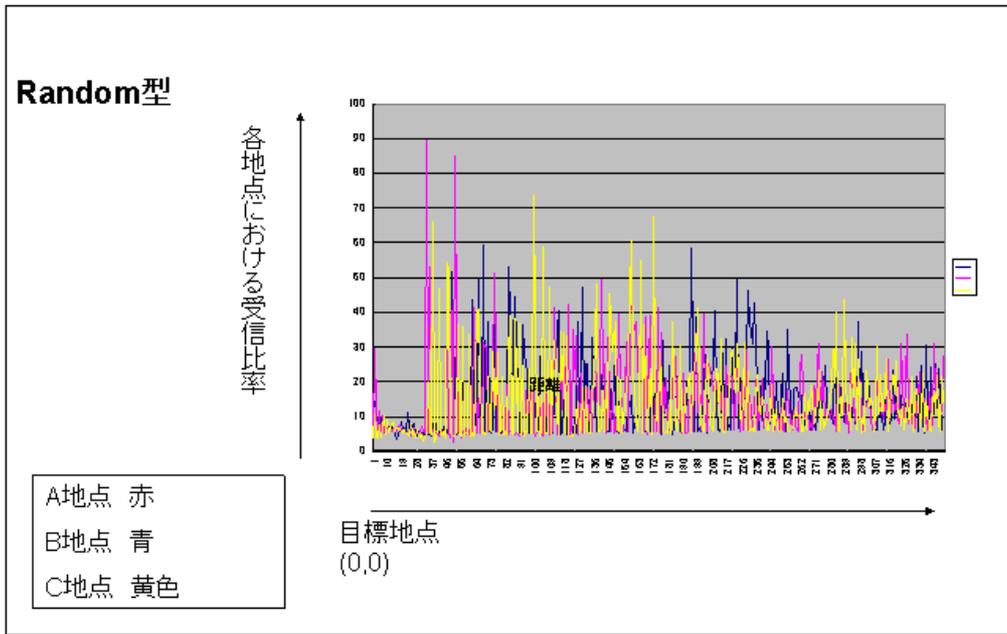


図 20 送信アルゴリズムを用いなかった場合の受信比率

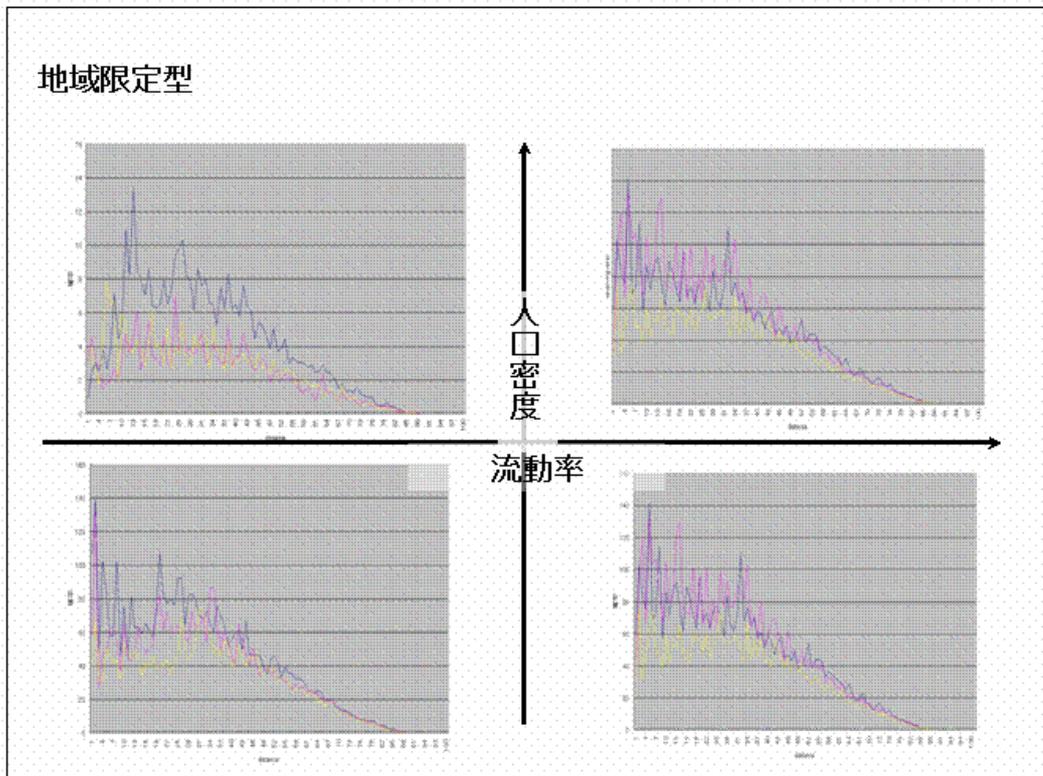


図 21 地域限定型の受信比率

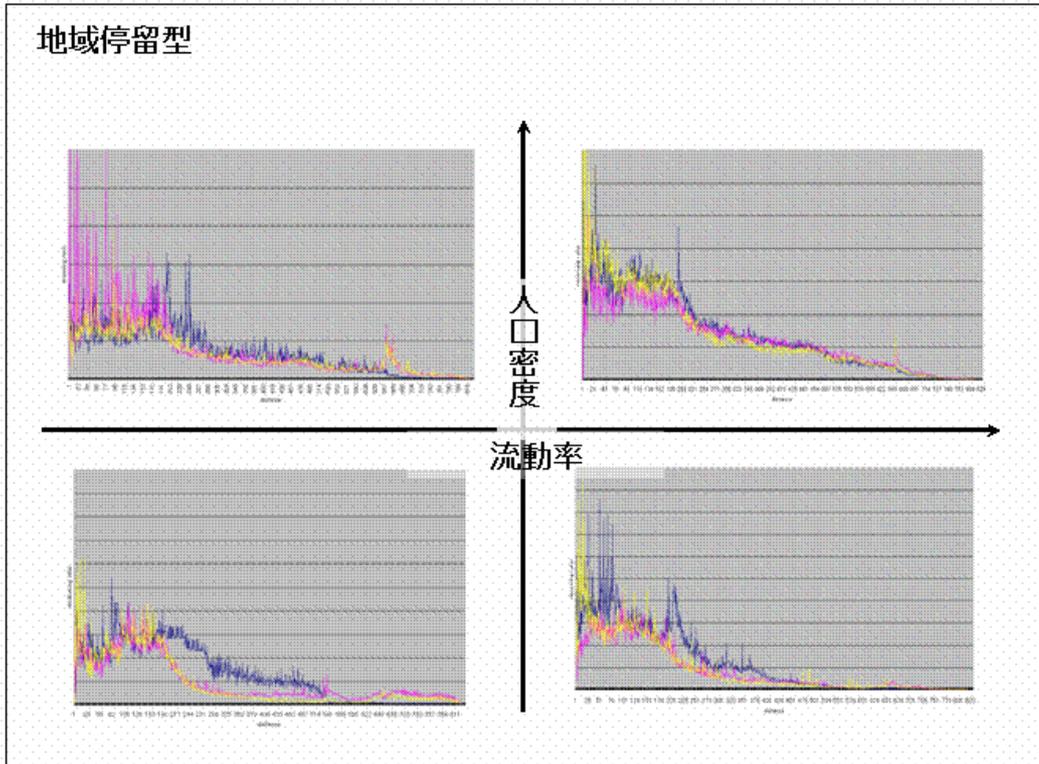


図 22 地域停留型の受信比率

一定時間ごとの状態変移

一定時間ごとに区切ったシミュレーションの状態変移は下記のようになった。

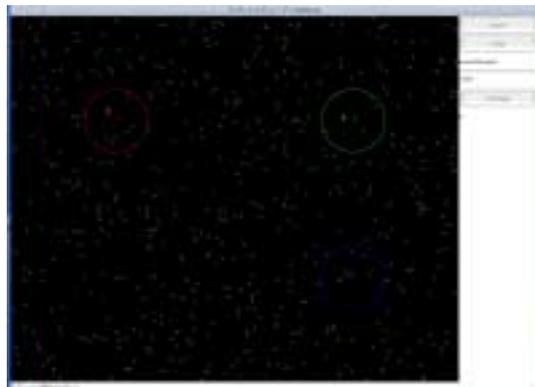


図 23 スタート

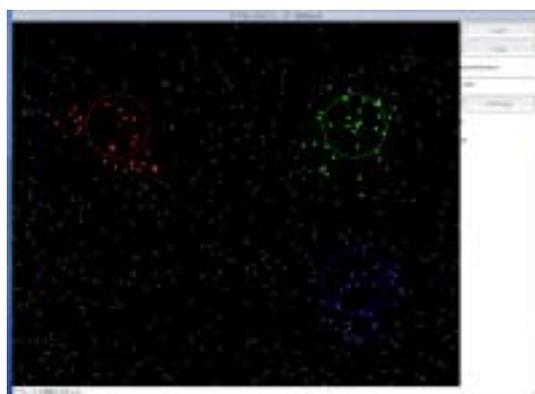


図 24 2分後

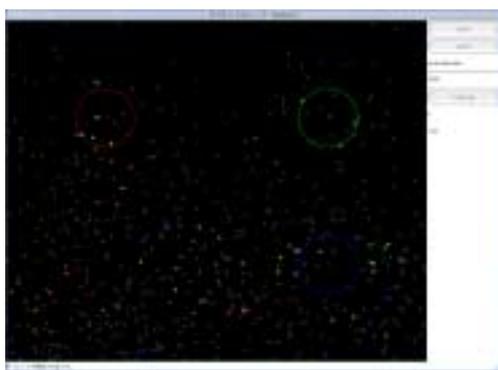


図 25 15分後 (地域限定型)

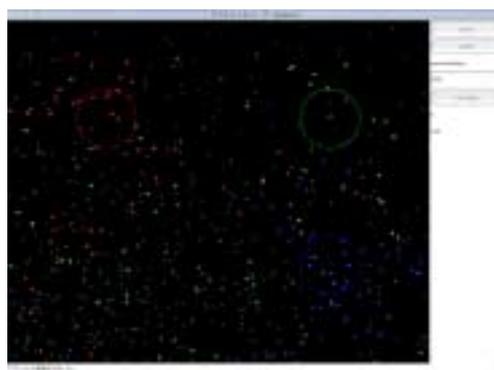


図 26 15分後 (地域停留型)

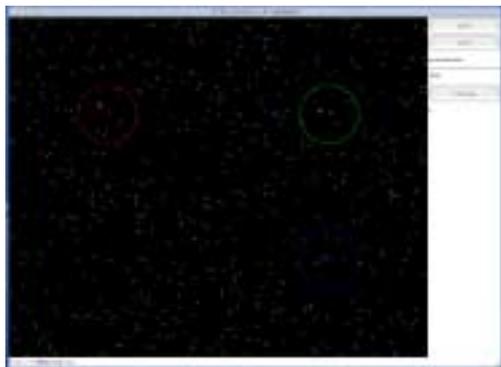


図 27 1 時間後（地域限定型）

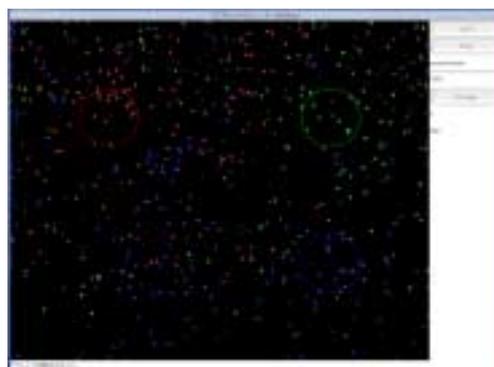


図 28 1 時間後（地域停留型）

結果の考察

実際のグラフについては付録にまとめた通り、人口密度、流動性の比率に関わらず想定したグラフと近似したグラフになった。

送信アルゴリズムを設定しない場合では、各地点における受信比率はほとんど変わらないのに対し、送信アルゴリズムを設定した場合は仮説で想定したものとほぼ同じ受信比率のグラフとなり、送信アルゴリズムによる受信比率の調整は効果が高いということが判明した。

人口密度が高い場合には目標地点付近に絶えず人がいる状態になるため、インターバルタイムを一定にしてもメッセージは長い間生存することが確認できた。

逆に、相対的なインターバルタイムを人口密度の高い場合に用いた場合、曲線はなだらかになり、中心地点と周縁の差が小さくなるため、中心地点と周縁の差を大きくする必要がある。これらはパラメータの設定によって調整が可能な誤差の範疇であり、この点については今後の実証実験によって最適な組み合わせを検討する。

第8章 実装

6章で設計したシステムを、ネットワーク上で実装し、動作確認を行った。
無線通信機能の部分については、位置情報を管理するサーバにその機能を持たせた。

8.1 実装環境

8.1.1 ハードウェア

機種： Apple 社 PowerBook

OS： MacOS X 10.1.5

CPU： PowerPC G4 667MHz

メモリ： 1024Mbytes

HDD： 30Gbytes

8.1.2 ソフトウェア

データベース MySQL[28](各ノードの位置管理サーバ)

8.1.3 プログラミング言語

プログラミングには Java 言語(java 1.3.1)を利用した。

8.1.4 通信プロトコル

近隣ノードの探索と通信は、無線通信を前提として実装を行った。また、近隣探索やポートの指定は、同一リンクに接続しているホスト同士が通信に必要な情報を交換するための機能として IPv6[27]で利用されている NDP (Neighbor Discovery Protocol) [25]等によって可能であるものとし、ネットワーク層の通信プロトコルには IP、トランスポート層のプロトコルには TCP を利用した実装を行った。

8.2 各モジュールの動作、及び動作確認

8.2.1 作成部

作成部では、発信者によって入力されたデータを元に COMPASS を作成し、メッセージの本文に付加する。

```

IshiMessage message = new IshiMessage();

//中略
//ここで入力された物を解析してヘッダを生成する

//messageID 生成
message.setMessageID();

//ヘッダのチェックをして送信部へメッセージを渡す
if(message.isVarid(parent.nowLatitude(),parent.nowLongitude()))
    parent.sendMessage(message);

```

8.2.2 コンテキスト監視部

コンテキスト監視部では、一定時間ごとに現在位置情報と現在時刻を取得する。本設計では GPS による極座標の取得を前提としていたため、これを整数の値に変更して記録した。

また、コンテキストの変化に応じて後述する蓄積部のデータの中から送信すべきデータを検索し、送信部(こちらも後述)に転送する。(メッセージ送信のスケジューリング機能)

(GPS の取得と現在時刻の取得のコード抜粋)

```

Position nowPosition = getPosition();
longitude = toLong(nowPosition.getLongitude());
latitude = toLong(nowPosition.getLatitude());

Date nowTime = new java.util.Date().getTime()

```

8.2.3 送信部

電波到達範囲内コンテキスト監視部によって蓄積部から渡されたメッセージをフラッシングする。今回はマッチングサーバより各ノードの位置を取得する。

```

void sendMessage(IshiMessage mess){

    //電波到達範囲内のノードのアドレスを取得
    Vector addresses = targetAddresses(mess);

    //送信メッセージをシリアライズ化する
    String packets = mess.toNetworkString();
    try{
        for(int i=0;i<addresses.size();i++){

            //送信ソケットの作成
            InetAddress addr = (InetAddress)addresses.elementAt(i);
            Socket sock = new Socket(addr);

            //ソケットへシリアライズ化されたメッセージを送る
            PrintWriter out = new PrintWriter
                (sock.getOutputStream(),true);

            out.println("from:"+clientID);
            out.println(packets);
            sock.close();
        }
    }catch(Exception e){
        System.out.println("ERROR: message send error");
        e.printStackTrace();
    }
}

```

8.2.4 受信部

他ノードからのメッセージを受信するためにスレッドを生成し、5250 番ポートを開けて受信する。

```

//サーバソケットの作成
final static int PORT = 5250;
try{
    ss = new ServerSocket(PORT);
}catch(IOException e){
    System.out.println("ERROR: serverside socket error");
    e.printStackTrace();
}

//中略

//作成したサーバソケット listen する
while(true){
    try{
        Socket s = ss.accept();

System.out.println("accepted! :"+port+"."+parent.nowLatitude()+","parent.nowLongitude());
        Receiver receiver = new Receiver(s,parent);
        receiver.start();
    }catch(IOException e){
        System.out.println("ERROR: accept error");
        e.printStackTrace();
    }
}
}

```

受信したメッセージの COMPASS を解析し、蓄積部のメッセージとの MessageID の重複をチェックする。

重複していた場合には重複した蓄積部のメッセージを消去する

```

try{

    BufferedReader in = new BufferedReader
        (new InputStreamReader(sock.getInputStream()));

    while(hasNextLine){

        //受信メッセージの COMPASS 部を解析する
        rawLine = in.readLine();

        if (rawLine.trim().equals("") || rawLine.trim().equals("BYE"))    break;
        else{
            st = new StringTokenizer(rawLine,";");
            header = st.nextToken().trim();

            if (header.equals
                ("distination position") ){//latitude,longitude
                //distination 要素の解析

            }else ~

        }

        //以下、同様に要素ごとの解析をしていく

    }

}

```

また、受信したメッセージを蓄積部へ送り、queue に追加する。

```

        if(isValidMessage(receivedMessage) ){           //メッセージを登録する条件 重複チェックなどが含ま
れる
                addMessage(receivedMessage);           //条件を満たしていたら蓄積部へ
        }
        sock.close();
    }catch(Exception e){
        System.out.println("ERROR :receiver exception");
        e.printStackTrace();
    }
}

```

8.2.5 実装したアプリケーションのスクリーンショット

実装したシステムは Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE™)Ver.1.4 がインストールされている PC、または PDA、携帯電話などで動作可能である。

実際の動作の流れは以下ようになる。

作成部のスクリーンショット

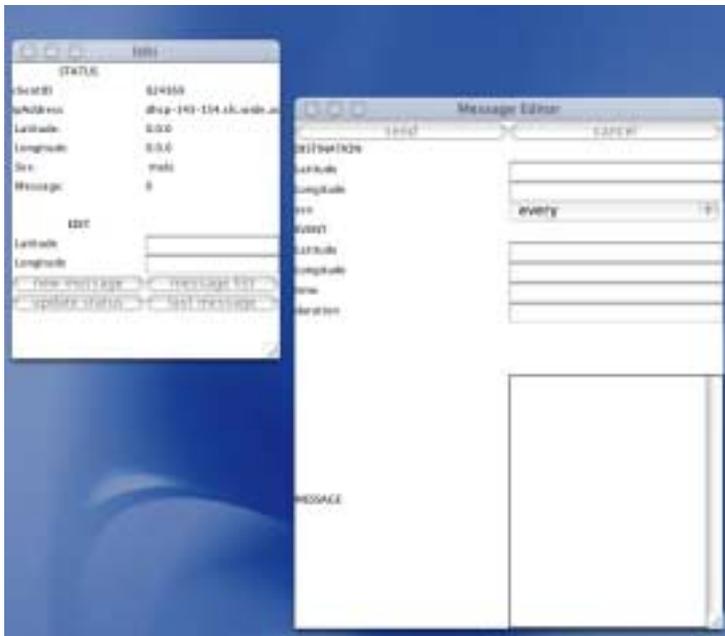


図 29 作成部のスクリーンショット

表示部のスクリーンショット

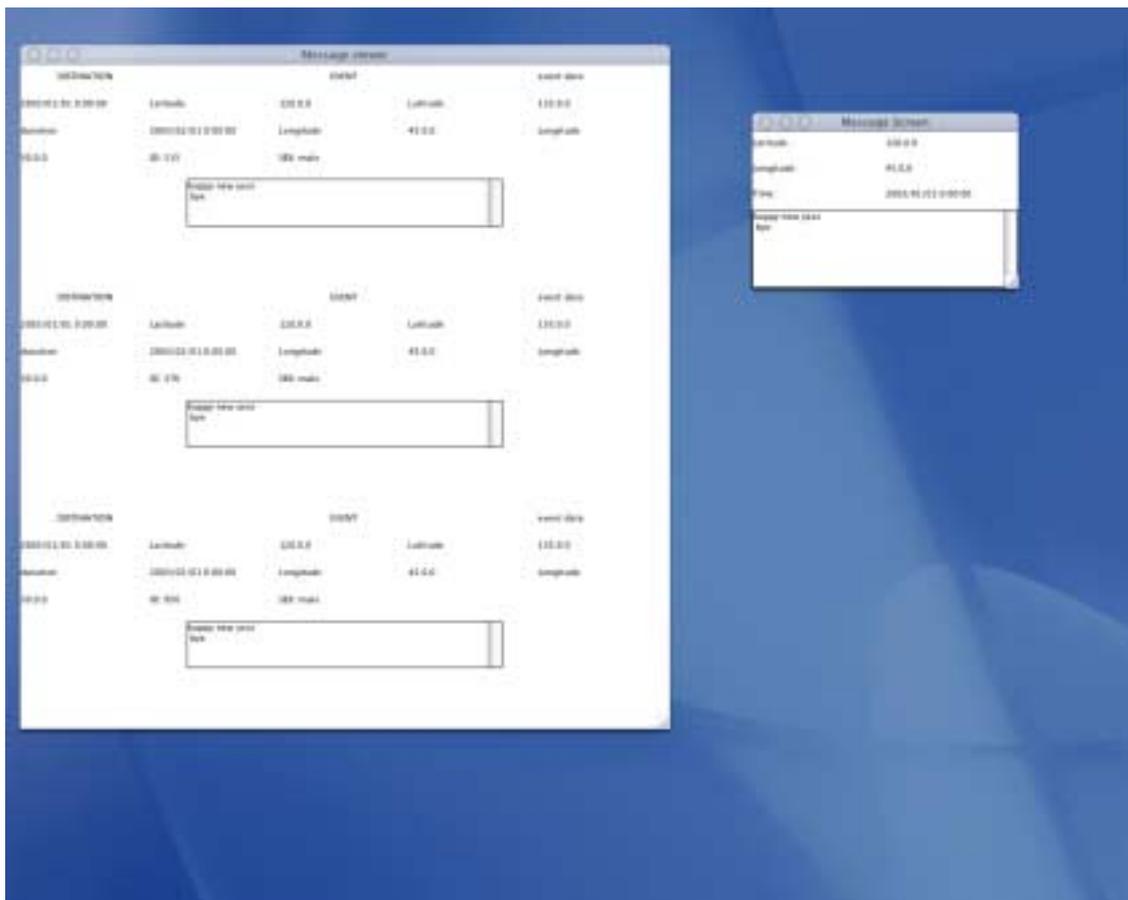


図 30 表示部のスクリーンショット（全体）

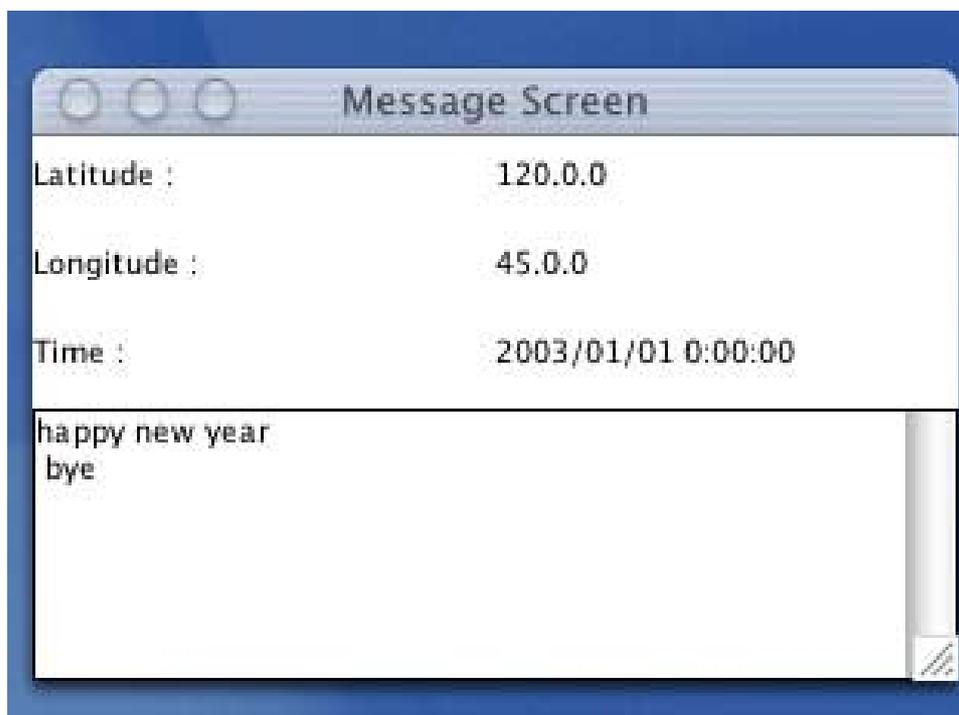


図 31 表示部のスクリーンショット（拡大）

第9章 評価

本研究の目的は、発信された情報がそれを仲介するユーザの協調作業によって緩やかにコントロールされ、その情報が必要とされる地域や人に伝搬されるための自律的な仕組みを設計し、それによって可能となる実空間上における新しいメッセージ伝達モデルを提案することにある。

シミュレーションでは、地域的な情報伝播の可能性について検証したが、本システムで実現しうるメッセージ伝達モデルとしては様々なものが考えられる。

そのためシステムの評価では、Content Cruising System の特徴をまとめ、今後の研究につなげることとする。

9.1 Content Cruising System の特徴

動作環境の優位性

本システムは Sun Microsystems が提供する Java™ 2 SDK[26]を利用して実装した。

このため、実装したシステムは Java1.4 が動作する環境において動作可能であり、一般の PC、または PDA、携帯電話などでも十分利用可能である。

Content Cruising System は、各ノードに実装されたサーバント同士の自律協調的な作業によって、メッセージの伝達を可能にする。このため、メッセージを管理する特定のサーバや、無線基地局などのインフラを必要としない。

情報配信システムとしての特徴

地域情報システムとしての優位性

無線基地局によるセル・ブロードキャストなどでは、情報交換の場は基地局の位置に依存する。

Content Cruising System では、人の集まるところならば地球上のどの地点でも情報交換の場として指定することが出来る。

広告媒体としての優位性

Content Cruising System では、情報配信の媒介に移動体自身を利用しているため、それらの特徴を活かした情報配信が可能である。

Ex.

音楽好きな人の周囲に広めたい

空港に居る人に広めて、広く海外に配信して欲しい

情報伝達システムとしての優位性

Content Cruising System はメッセージに転送ルールを持たせることによって、さまざまな情報伝達モデルを可能とする。本論文で例として扱った転送ルールは一部であり、異なるルールの組み合わせによって他にも下記のような情報伝達が考えられる。

Ex.

10 時に送信を始め、方々に広がる。

11 時になったら一斉に渋谷に戻る。

渋谷に戻った message は 12 時までその場に停留する。

9.2 想定される利用形態

本システムの利用が有効だと思われる利用形態としては、下記のようなものが挙げられる。

特定のインフラなどを期待できない場所でのメッセージ配信

- ・被災地等における情報伝達
- ・屋外イベントでの情報配信

時間と地域を限定としたメッセージ配信

- ・地域情報の告知（キャンペーン情報、交通情報など）
- ・緊急な伝達が必要とされる情報の告知（ニュースや緊急時の避難勧告等）

媒介者の特性を利用したメッセージ配信

- ・媒介者の移動特性を利用した情報配信システム
(各家庭への回覧情報を新聞の配達員に配信してもらう、等)
- ・媒介者の嗜好特性を利用した情報配信システム
(音楽好きな媒介者が音楽好きな仲間に情報を配信する、等)

第10章 結論

10.1 まとめ

本研究の目的は、移動体のコンテキストを利用することにより、アドホックコミュニケーションにおける情報の氾濫を自律的にコントロールすること、またそのような特徴を利用したメッセージ伝達の形態を提案することである。

これを実現するシステムとして Content Cruising System を設計した。設計したシステムはアドホックコミュニケーションという単純なメッセージ交換の手法に、シンプルなアルゴリズムを組み込むことによって、メッセージが自律的に伝達される機構をもたらすものである。

実装部分については、ネットワーク上において動作確認を行うことで実現可能性を検証した。

実装したサーバントアプリケーションは、現在の携帯端末でも十分動作する内容であり、その他に特定のサーバやインフラを必要としないコミュニケーションの事例として、特定地域を対象としたメッセージ伝達を設計し、シミュレーションによってその効果を検証した。

10.2 今後の課題

今回は Content Cruising System の基本的な機能である「特定地域での伝播」に着目し、そのアルゴリズムについてシミュレーションを通じた検証を行った。

これ以外にも同様の設計で、以下のような仕組みも実現可能であると思われるが、自明（前者二つ）であるか、逆に移動体の不確実性に大きな影響を受けるもの（後者二つ）は本論文では対象としなかった。

- ・ 鍵技術を利用したメッセージの秘匿と特定となるユーザの認証
- ・ インターバルタイムのみを利用した広範囲におけるメッセージの拡散
- ・ 特定の地域をトリガーとしたメッセージ配信
- ・ 媒介者の性質を利用したコミュニティへの伝播

また今回、媒介者は受信したメッセージを必ず転送することを前提としていたが、日常の噂などがそうであるように、その情報に対するユーザの需要によってメッセージが自然淘汰する仕組みも必要だと思われる。

また今回は送信頻度によって情報の求心力を定義したが、帯域の問題や電力の問題を考えると、効率の高いリソース管理は工学的に必要である。今回の検証には含まれていないため現段階では仮説に留まるが、同一メッセージの無駄な発信回数を防ぐためには、データリンク層におけ

る CSMA/CD や CSMA/CA with ACK などの輻輳管理の仕組みが利用できると思われる。つまり、同一メッセージを受け取ったノードはメッセージのピンポン転送を防ぐために一定時間のインターバルを置くことにすると、その地域に新しく参入したノード（つまり、そのメッセージを始めて受け取ったノード）ほど送信回数が多くなり、逆に古参のノード（つまり、既にそのメッセージを受け取っているノード）ほど送信回数が減って受信側に廻る、といった自律的な省エネ機能が働くのではないかと思われる。

Content Cruising System は、IP を利用したアプリケーション層において実装した。このため、「物理的な伝送媒体に制限されない」というインターネットの長所を受け継いでいる。本論文では現在の局所無線を利用することを前提に論じてきたが、将来の局所無線の新しい規格や、様々な有線媒体を使用する場合でも、Content Cruising System を利用することが出来る。これにより、局所無線の制限である地理的制限が克服され、Content Cruising System の情報目的の地の選択範囲が拡大するため、システムがより有効に利用できる。

IP を利用することにより、インターネットで網羅される地域全体を Content Cruising System の範囲とする場合、システムの拡張性が残される。これまで情報の伝播は「情報を保持する人の移動」と「人と人の間の情報伝達」によって成されるとしてきたが、既存のインターネットを利用し、位置があらかじめ認識されている固定ノードへ情報を直接送信することによって、情報の伝播経路をショートカットする機構も将来的には実現可能である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた村井純教授、中村修助教授、福井弘道教授に感謝いたします。

また、執筆にあたって絶えずご指導とご助言をいただきました慶應義塾大学政策メディア研究科博士課程の渡辺恭人氏に感謝致します。

慶應義塾大学環境情報学部の楠本博之助教授、同学部専任講師の重近範行氏、同学部専任講師の南政樹氏、同大学院政策メディア研究科特別研究教員の植原啓介氏、独立行政法人通信総合研究所研究員の杉浦一徳氏を初めとする研究室の先生方や諸先輩方には本研究を進めていく上で本研究を進めていく上で様々な議論をして頂き、貴重なアドバイスを頂きました。

そしてシステム実装や数学的な理論の組み立て等、多岐に渡るサポートをしてくれた研究会後輩の久松慎一君、グラフ等の処理等を徹夜で手伝ってくれた同じく研究室後輩の久松剛君には、本当に頭が上がりません。本当にありがとう。

この他、名前を挙げていくと切りがありませんが慶應義塾大学環境情報学部・総合政策学部の徳田村井中村楠本研究室の諸氏には、日頃から本研究を進めていく上で様々な議論をして頂き、また耐えざる励ましとご援助を頂きました。この場を借りて日頃からの感謝を表したいと思います。執筆の苦勞を共にし、励ましてくれた慶應義塾大学環境情報学部の頼原桂二郎氏、林亮氏、鳥谷部康晴氏を始めとする研究会同期の皆様、本当にお疲れ様でした！

そして少しずれますが、ちょうど同時期に開催された 2002 年 FIFA ワールドカップ。日本代表の活躍には研究室にこもりきりの私も励まされました。4 年後も楽しみにしています。

以上をもって謝辞と致します。

参考文献

- [1] 「Andy Oram, “Peer-to-Peer : Harnessing the Power of Disruptive Technologies”, O'Reilly & Associates
- [2] Dreamtech, “Peer to Peer Application Development: Cracking the Code”, John Wiley & Sons
- [3] Gnutella, <http://gnutella.wego.com> Aug, 2001
- [4] Kunwadee Sripanidkulchai. The popularity of Gnutella queries and its implications on scalability. Carnegie Mellon University
- [5] 伊藤直樹著, 「P2P コンピューティング」, ソフトリサーチセンター
- [6] W. Richard Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1, Addison Wesley
- [7] Mahadev Satyanarayanan, Workshop on Mobile Computing Systems and Applications December 1994, Operating Systems Review, Volume 29, Number 2, April 1995
- [8] Mark Weiser, "Hot Topics: Ubiquitous Computing", IEEE Computer, October 1993.
- [9] Mark Weiser, "Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing.", Communications of the ACM, July 1993.
- [10] Mark A. Miller 著, 宇夫陽次朗監修, 「IPv6 入門」, 翔泳社
- [11] FLEX FIRM Inc., 「X-IM クロスインスタントメッセンジャー」
- [12] 副島大和, 福田直樹, 大園忠親, 伊藤孝行, 新谷虎松, 「Friend Ring: 信頼度関係に基づくモバイルエージェント間の協調手法について」
- [13] 東中竜一郎, 長尾確, 「アノテーション用いて Web ドキュメントをわかりやすく提示する方法」, WIT2000-S1-2
- [14] SHA-1(Secure Hash Algorithm)
National Institute of Standards and Technology (NIST), FIPS PUB 180-1:
Secure Hash Standard, April 1995.
- [15] MD5
RFC1321: The MD5 Message-Digest Algorithm

- [16] ・佐藤一郎: "モバイルエージェントの動向", 人工知能学会論文誌, Vol.14, No. 4, pp.598--605, 1999.
- [17] 酒井「ロケーションベースサービスプラットフォーム MobileLocation.net
MobileLocation.net のご紹介」S-IT ワークショップ
- [18] 蜷川繁、津田伸生、服部進実「噂の伝播モデル」情報処理学会論文誌, Vol.41, No.02-035,2000 年
- [19] Bluetooth.org
<https://www.bluetooth.org/>
- [20] IEEE 802.11 WG
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>
- [21] OBEX™(Object Exchange Protocol)
<http://www.irda.org/standards/pubs/OBEX13.pdf>
- [22] J-PHONE Co.,Ltd
<http://www.j-phone.com/>
- [23] 垂水浩幸, 森下健, 中尾恵, 上林弥彦「時空間限定型オブジェクトシステム: SpaceTag」
インタラクティブシステムとソフトウェア VI、近代科学社、pp. 1-10 (1998 年 12 月)
- [24] I. Clarke, O. Sandberg, B. Wiley, T.W. Hong
"Freenet: A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System"
Pin Designing Privacy Enhancing Technologies, Lecture Notes in Computer
Science 2009, H. Federrath, ed., Springer-Verlag, Berlin, 2001, pp. 46-66
- [25] Neighbor Discovery for IP Version 6
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2461.txt>
- [26] The Source for Java™ Technology, Sun Microsystems, Inc
<http://java.sun.com/>
- [27] S.Deering, R.Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6)" December 1998
RFC2460
- [28] MySQL
<http://www.mysql.com/>
- [29] Internet Mail Consortium
<http://www.imc.org/>