

モバイル端末とクラウドコンピューティングを用いたセンサ情報蓄積手法の提案と設計

丹羽 絢也^{†1} 岡田 和也^{†1} 奥田 剛^{†1}
門林 雄基^{†1} 山口 英^{†1}

スマートフォン等のモバイル端末が日常的に収集しているセンサ情報を継続的に蓄積するためには、膨大なストレージ容量が必要となる。本研究では、モバイル端末内にセンサ情報を保持させたまま、目的とする地理位置に関連付けられたセンサ情報を取得可能なセンサ情報蓄積手法を提案する。既存手法では、収集されたセンサ情報の地理的な偏りによってデータ容量が偏りストレージ負荷が集中するという問題がある。そこで本論文では、Infrastructure as a Service 型クラウドを用いてセンサ情報の密度に応じた動的なネットワークを構築し、負荷を分散させる事が可能なクラウド内 Peer-to-Peer ネットワークを用いたセンサ情報蓄積手法の設計について述べる。

A Sensor Data Storage System Using Mobile Devices and Cloud Computing

JUNYA NIWA,^{†1} KAZUYA OKADA,^{†1} TAKESHI OKUDA,^{†1}
YOUKI KADOBAYASHI^{†1} and SUGURU YAMAGUCHI^{†1}

To continuously store daily collected sensor information using mobile devices, huge demand for storage capacity must be distributed. We propose a location sensitive sensor data storage system which can perform geographical range search by keeping sensor information stored on mobile devices. Using the storage capabilities of mobile devices, the growth of storage capacity load caused by the growth of the number of users can be mitigated. We describe the design of sensor data storage system using Infrastructure as a Service cloud to construct a dynamic network for making consideration of sensor data density.

1. はじめに

スマートフォンの普及により、多様なセンサを備えたモバイル端末が日常的に利用されるようになった。位置センサとして GPS を備えたモバイル端末を用いて、Foursquare 等の位置情報を扱うサービスが実用化されている。GPS 以外にも加速度センサや気圧センサ、温度センサを備えるモバイル端末も市販されている。センサ情報と位置情報を組み合わせることで、位置情報に基づいたセンサ情報検索への応用が期待できる。

Zamora ら⁴⁾ は突発的かつ局所的な集中豪雨（ゲリラ豪雨）に対して、キロメートル単位より詳細なセンサ情報を収集可能であるユーザのスマートフォンを用いて、早期に警報を発するシステムを提案している。ゲリラ豪雨は、通常の降雨と比較するとより狭い範囲で突発的に発生する。従って、ゲリラ豪雨の予報を行うためには気象センサを高密度に設置する必要があるが、そのコストが問題となる。気圧等のセンサ情報や、無線 LAN 及び 3G の電波強度をユーザのスマートフォンを用いて収集する事で、気象センサを設置する事無く必要な情報を得る事が可能になる。本研究では、ゲリラ豪雨の検知や予報に活用するための無線 LAN 電波強度をスマートフォン等のモバイル端末によって収集するシステムを対象とする。無線 LAN 電波強度の情報には、無線 LAN アクセスポイントの SSID や BSSID、電波強度の情報が含まれる。無線 LAN 電波強度の情報を活用するためには、多数のモバイル端末が取得するセンサ情報を取得時間や取得した場所を指定して検索出来なければならない。その実現方法として、一箇所のサーバやクラウド等に送信し蓄積する方法と、モバイル端末内に保存しておき必要な時にネットワークを用いて取得する方法がある。一箇所のサーバやクラウド等に送信し蓄積する方法には、モバイル端末から定期的に情報を収集する場合、必要なストレージ容量がユーザ数に比例し多くなるという問題がある。モバイル端末内に保存しておく場合、ユーザのモバイル端末のストレージやネットワーク帯域といった資源を有効利用する事ができ、ユーザ数の増加に対してスケールアウトするシステムを構築する事が可能である。

地理位置を指定してセンサ情報の検索を行うためには、位置情報を持つモバイル端末を地理位置を用いて検索し通信出来なければならない。地理的範囲を指定してその範囲に存在するモバイル端末を検索する事が可能な Peer-to-Peer(P2P) 型のネットワークとして LLNet⁶⁾

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

が存在する。LLNet は、管理対象とする領域を分割し、モバイル端末を端末自身が存在する地理位置に該当する領域に参加させる。そして、隣接領域とのリンクを階層的に張る事で他の領域に存在するモバイル端末を検索可能とする。LLNet はモバイル端末が存在する場合において検索成功率が高い事の特徴とする。しかしながら、モバイル端末は絶えず移動しており一つの場所に留まることは少ない。モバイル端末は様々な場所でセンサ情報を収集するため、取得されたセンサ情報毎に位置情報を付加し検索を可能にする必要がある。P2P型ネットワークを用いた場合、LLNet の様に一定の地理的範囲に ID 付けし、センサ情報を取得した範囲を担当するピアに対してセンサ情報を保存するという方法が考えられる。しかしながら、人口密度は昼夜で大きく変化する。昼間は都市部が、夜は住宅街の人口密度が上昇する。人が多く集中する場所では、1 台の端末が管理する端末数が多くなり負荷が集中する可能性がある。これら問題を解決するため、本研究では Infrastructure as a Service (IaaS) 型クラウドを用いたセンサ情報蓄積システムを提案する。IaaS 型クラウドはユーザに対してネットワーク及び仮想マシンを構成する事の出来るサーバを貸し出すサービスで、動的な仮想マシンの生成や起動、停止、破棄が可能である。センサ情報を取得した端末は、取得した位置に該当する領域に参加する。また、クラウド内に参加した端末を管理する仮想マシンを生成する。クラウド内で P2P ネットワークを構築する事で、センサ情報を取得した端末数の変動に対して動的に管理ピアの追加や削除を行う事が可能になる。この事により、昼夜間の人口密度の差を吸収しながらセンサ情報を蓄積し活用する事が可能になる。

2. 既存研究

SkipGraph¹⁾ と Z-Ordering と呼ばれる空間充填曲線を組み合わせ、地理位置による範囲探索を可能にした研究として ZNet³⁾ が存在する。SkipGraph は確率を用いた分散環境のためのデータ構造であり、図 1 の様な構造を持つ。レベル 0 では、各ノードが持つキー値をもとに順序良く全てのノードが双方向連結リストを構築する。レベル $n(n > 0)$ では、Membership Vector と呼ばれる各ノードがランダムに生成する値の最上位ビットから n ビット目までが一致するノード同士で双方向連結リストを構築する。この様に構造を決定する事で、各ノードは複数の SkipList の何れか 1 つに所属する事になる。例えば、図 1 においてキー値 33 を持つノードは、破線で示した SkipList に所属する。キー値の探索は、SkipList と同様のアルゴリズムで行う事が可能である。ZNet では、地理位置である 2 次元情報を Z-Ordering と呼ばれる空間充填曲線を用いて数値に変換し、SkipGraph のキー値とする事で、地理位置による範囲探索が可能でかつノード数の増加に対して探索時間をスケールさせ

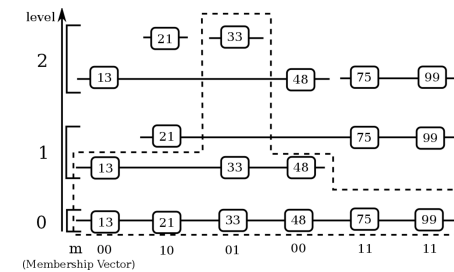


図 1 SkipGraph の構造
Fig. 1 Structure of SkipGraph.

る事の出来るネットワークを構築する。

移動するモバイル端末が存在する環境を想定した P2P 技術として、LLNet⁶⁾ が存在する。物理領域を経緯度によって格子状に区切り、最も小さい領域をエリアと呼ぶ。LLNet にはレベルの概念が存在し、1 つ上のレベルでは 4 つのエリアが 1 つのエリアとなる。ピアは全てのレベルにおいて隣接領域とのリンクを張り、遠くの領域の探索は高いレベルのリンクを用いる事で効率的なルーティングが可能である。また LLNet は、エリア毎にランデブーピアと呼ばれるピアを選択する。ランデブーピアはエリア内の木構造ネットワークの根となり、子ピアのエリア間の移動や他のエリアからのピアの移動の管理を行う。この様に P2P ネットワークを構築する事で、LLNet は他の手法と比較してモバイル端末の移動に伴うネットワーク維持コストを削減している。

3. 設計方針

本章では、提案するシステムの設計方針について説明する。まず初めに、モバイル端末を用いたセンサ情報収集とその蓄積にかかるコストについて述べる。次に、そのコストを削減するために、取得したセンサ情報を端末内に保存したまま検索可能な P2P 型ネットワークを利用したセンサ情報蓄積システムの問題点について説明する。最後に、センサ情報密度の疎密によって起こる負荷の集中に対して、Infrastructure as a Service (IaaS) 型クラウドを用いる利点について述べる。

3.1 情報蓄積コスト

モバイル端末を用いて収集される情報には、GPS による位置情報、カメラによる動画情報、マイクによる音声情報及び音量情報、加速度センサによる加速度情報、無線 LAN ク

表 1 センサ情報毎の必要なストレージ容量
Table 1 Storage consumption of wifi strength Information.

センサ情報種別	1 度に収集される情報量	5 年間で収集される情報量
位置情報 (経度と緯度)	32bit × 2	約 191TeraByte
SSID	1AP 当たり最大 32Byte	約 765TeraByte
BSSID	1AP 当たり 48bit	約 143TeraByte
電波強度	1AP 当たり 32bit	約 96TeraByte
合計	1AP 当たり最大 50Byte	約 1,195TeraByte

クライアントによる SSID や BSSID, 電波強度の情報等がある。これら情報のうち、本研究で対象とする無線 LAN アクセスポイント (無線 AP) の電波強度情報を蓄積する際に必要となるコストについて述べる。平成 23 年の 1 年間に国内で契約されたスマートフォンの台数は JEITA²⁾によると約 1,092 万台であった。そこで、1,000 万台の Android 端末を用いて 60 秒に 1 回センシングを行い、5 年間情報を蓄積した際に必要となるストレージ容量を計算した。表 1 にその結果を示す。無線 AP の電波強度情報には、取得した地点の位置情報や各 AP 毎に SSID, BSSID, 電波強度の情報が含まれる。表 1 では、1 回の収集で 1 つの無線 AP 情報しか得られない状況での情報量を計算した。しかしながら、都市部等では無線 AP が複数検知される可能性があるため、収集される情報量はより増える可能性がある。また、クライアント・サーバ型システムを利用して一箇所のサーバに情報を蓄積する場合、必要なストレージ容量がユーザ数の増加に比例して多くなるという問題がある。

3.2 情報を端末内に保存するシステム

ユーザのモバイル端末上にセンサ情報を保持させる事で、ユーザ数の増加に伴って利用可能なストレージ資源が増加するため、先述したユーザ数の増加に比例した必要なストレージ容量の増加の問題を解決する事が可能である。端末上にセンサ情報を保持させたまま地理位置を指定した情報の検索を行うために、既存の IP ネットワーク上に Peer-to-Peer (P2P) 型ネットワークを構築し利用する方法が考えられる。

地理的範囲を用いたその範囲に所属する端末の探索を可能にする、P2P 型ネットワーク構築手法として LLNet が存在する。LLNet を用いてセンサ情報蓄積システムを構成する場合、各ピアをセンサ情報を収集する各モバイル端末とする方法が考えられる。ユーザは常に移動しながら情報を収集するため、複数地点で取得されたセンサ情報を各端末は保持する事になる。これら情報を探索可能にするためには、各ピアに LLNet 上で所属する範囲を担当させ、その範囲で取得された情報を担当ピアが保存する方法が考えられる。しかしながら、この方法を用いた場合、昼夜間の人口密度の差により必要なストレージ容量が少数の端末に

表 2 平成 17 年昼夜間人口比率の最大値と最小値⁵⁾
Table 2 The population ratio between day and living populations.⁵⁾

対象範囲	最大値	昼間/常住人口 (千人)	最小値	昼間/常住人口 (千人)
都道府県	120.6 (東京都)	14,978/12,416	87.5 (埼玉県)	6,159/7,036
県庁所在地等	138.0 (大阪市)	3,582/2,595	87.1 (川崎市)	1,154/1,326
東京都特別区	2047.3 (千代田区)	853/42	80.7 (葛飾区)	343/425
大阪市	761.8 (中央区)	508/67	86.8 (鶴見区)	93/107
名古屋市	494.6 (中区)	325/66	76.7 (緑区)	166/216
市町村別	173.6 (京都市久御山町)	28,842 人/n/a	63.9 (大阪府豊能町)	15,244 人/n/a

集中して多くなるという問題がある。総務省は平成 17 年国勢調査⁵⁾において、日本国内の昼夜間人口比率を発表している。昼夜間人口比率とは、通勤及び通学によって昼間に移動する人口を元に、昼間と夜間の人口の比率を算出したものである。昼間の人口が夜間と比較して多ければ高い値が、昼間の人口が少なければ低い値となる。昼夜間人口比率は、県や市区町村といった幾つかの地図上の範囲で区切った値が算出されている。それぞれの範囲毎の最大値と最小値を表 2 に示す。最も高い値は東京都千代田区の 2,047.3% であり、最も低い値は大阪府豊能町の 63.9% である。センサで取得した情報を取得した領域を担当するピアに送信して保存する方法では、千代田区のように昼間に多くのピアが所属し情報が収集された領域において、夜間では少ないピアが同じ領域を担当し情報を保持しなければならない事がわかる。逆に、豊能町の場合、夜間に多くのピアが所属する領域において、昼間には少ないピアが同じ領域に蓄積された情報を保持しなければならない。この様に、昼夜間人口比率の差によって各領域を担当するピア数に増減が生じ、必要なストレージ容量が少数のピアに集中して多くなるという問題がある。

3.3 提案手法の設計方針

昼夜間人口の差によって起こるストレージ容量の要求の集中を回避するため、端末が複数の領域に同時に参加する事が可能な IaaS 型クラウドを用いたセンサ情報蓄積システムを提案する。提案手法の概念図を図 2 に示す。図 2 ではユーザ A が移動軌跡に沿ってセンサ情報を定期的に収集している。本研究では管理対象とする地理的範囲を分割し、分割された後の各範囲を領域と呼ぶ。ユーザ A が未参加の領域でセンサ情報を収集した場合、クラウド内のその領域を担当する仮想マシンインスタンスである領域管理ノードに対して Subscribe を行う。Subscribe とは、モバイル端末がその領域において情報を収集した事を、領域管理ノードに通知する事を表す。領域毎に Subscribe を行う事で、各領域においてセンサ情報を取得した事を領域管理ノードに通知できるため、モバイル端末がどの地理位置に存在するか

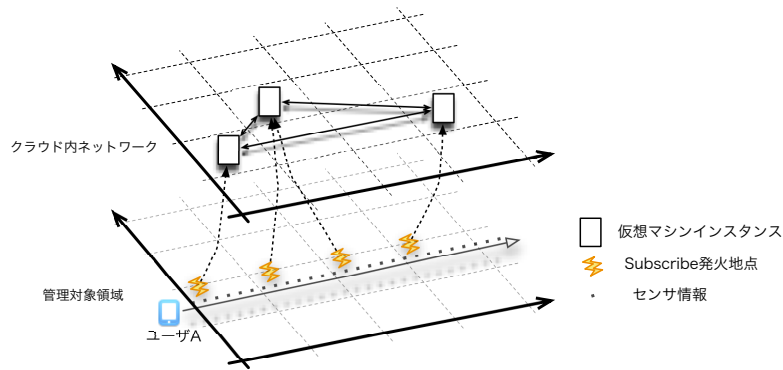


図2 センサ情報蓄積手法の概要

Fig. 2 Overview of proposed sensor data storage system.

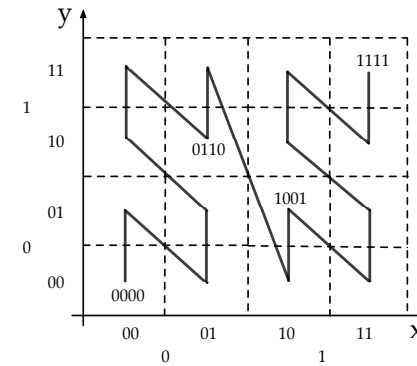


図3 管理対象領域の分割

Fig. 3 Division of a management area.

に関わらずセンサ情報を探索する事が可能になる。さらに、同時に複数領域に参加する事で、昼間に人口が多い領域にはそれだけ多くの端末を参加させる事ができ、昼夜間の人口差によるストレージ容量の要求の集中を回避する事が可能である。

クラウド内では SkipGraph と Z-Ordering を用いて、仮想マシンインスタンスをノードとした P2P 型ネットワークを構築する。本研究では、クラウド内ネットワーク上のノードが複数の領域を管理する事を許す事とする。モバイル端末は複数領域への参加が可能のため、各領域には本システムを利用する全てのモバイル端末が Subscribe を行う可能性がある。従って、各領域毎の Subscribe 数の差によりクラウド内ネットワークのノードに負荷の集中が発生する可能性がある。IaaS 型クラウドを用いて仮想マシンインスタンスを動的に生成及び起動する事で、Subscribe 数の差によって起こるノードの負荷の集中を回避する事が出来る。

4. 提案手法

3章で述べた設計方針に従う、モバイル端末によって収集されるセンサ情報蓄積システムの構築方法について説明する。提案するシステムにはクラウド内のネットワークと、管理対象領域を分割した後の領域内ネットワークの2種類のネットワークが構成される。まず初めに、管理対象領域の分割方法について述べる。次に、分割後の領域を管理するクラウド内ネットワークの構築方法について述べる。そして、クラウド内ネットワークを用いたセン

サ情報の検索方法について説明する。さらに、領域内ネットワークに用いる事が出来るネットワークについて考察する。最後に、モバイル端末に用いるアプリケーションの動作について述べる。

4.1 管理対象領域の分割方法

モバイル端末内に保存された様々な地理位置で取得されたセンサ情報を検索するためには、管理対象領域を分割してその領域でセンサ情報を取得した端末の情報をクラウド内で保持する必要がある。管理対象領域の分割は、対象領域を格子状に分割していく事で行う。そして、各領域にクラウド内ネットワークを構成するための Z-Ordering による ID 付けを行う。領域 ID は、その領域の経緯度 (x, y) の2進数表現を $(\dots x_3x_2x_1, \dots y_3y_2y_1)$ とした時、 $\dots x_3y_3x_2y_2x_1y_1$ で表す事とする。管理対象領域の分割の様子を図3に示す。図3では、管理対象領域の経度と緯度にそれぞれ2bit 割り当て、合計で16個の領域に分割している。従って、領域 ID は10進数で表すと0から15までの値となる。本研究では、対象とする全世界で起こりうる局所的かつ突発的な豪雨の警報システムに本システムを応用するため、管理対象領域を全地球とする。管理対象領域の範囲は経緯度の最大値と最小値で表される。対象範囲とその経緯度に割り当てるビット数は、提案するシステム及び全てのモバイル端末が共有する。対象範囲と経緯度に割り当てるビット数がわかると、どの程度管理対象領域が分割されているかがわかるため、各モバイル端末はセンサ情報を取得した際にその地理位置が未参加の領域かどうかを判断する事ができ、クラウド内ネットワークへ主体的に

表 3 端末が保持するセンサ情報の例

Table 3 An example of the sensor data stored in a mobile device.

取得時刻	取得位置を表す経緯度	SSID	BSSID	電波強度情報
1120380867920	135.734807, 34.731782	mm2010	12:34:56:78:9a:bc	-46
		WiFiAccessPoint	12:34:56:78:9a:bd	-90
1120381059814	135.770239, 34.743292	ap_wifi	12:34:56:78:9a:be	-52
		⋮		

表 4 Subscribe に含まれる情報の例

Table 4 An example of the information included in a Subscribe message.

領域 ID	端末の IP アドレス
4503599627370495	163.221.***.***

Subscribe を行う事が可能になる。管理対象領域を割り当てるビット数を増やして細かく分割すると、クラウド全体で管理する必要のある Subscribe 数が増加する。また、粗く分割すると、領域内ネットワークを用いたブロードキャスト型の通信に必要なトラフィックが増加する。本システムでは、センサ情報の探索要求を領域に参加する全ての端末にブロードキャストする必要がある。下層ネットワークを既存の IP ネットワークとした場合、領域内のネットワークにおいて利用可能な帯域が限られている。従って、管理対象領域を分割する粒度を決定する際は、クラウドにおける Subscribe 管理コストと下層ネットワーク帯域の消費のトレードオフを考慮しなければならない。

4.2 情報収集クライアント

モバイル端末内においてセンサ情報を収集しクラウドに Subscribe を行うクライアントソフトウェアについて述べる。クライアントは、先述した管理対象範囲と経緯度に割り当てるビット数を保持する。また、クラウド内ネットワークに Subscribe を行うための Subscribe 送信先 IP アドレスを保持する。クライアントは、予め定められた時間毎に無線 AP 電波強度と GPS による位置情報を取得する。表 3 に収集される情報の例を示す。取得された位置情報から、経度と緯度をそれぞれ取り出し、領域 ID を計算する。もし計算された領域 ID が示す領域が、Subscribe を行っていない領域であった場合、Subscribe 送信先 IP アドレスを宛先とした Subscribe を送信する。Subscribe には、表 4 に例示した様に、領域 ID と自身の IP アドレスの情報を含める。クラウドからの返信には新しい Subscribe 送信先 IP アドレスが含まれるため、端末内で保持する情報の更新を行う。

蓄積されたセンサ情報を利用するユーザが探索クエリを発行した際は、クラウドからクエ

リが転送されクライアントまで送達される。クライアントは、クエリ中の領域 ID と探索範囲、対象取得時間範囲に該当する情報を取り出し、クエリに含まれる返信先 IP アドレスへ返信を行う。

4.3 クラウド内ネットワーク

センサ情報を取得したモバイル端末を管理し、地理的範囲を指定した探索を可能にするクラウド内ネットワークを構築する方法について説明する。

本システムには、ディスパッチャと管理ピアの 2 つの仮想マシンインスタンスが存在する。ディスパッチャは、システムの始動時に最初の管理ピアを担うための仮想マシンインスタンスを生成したり、管理ピアからの担当領域分割要求を受け取り仮想マシンインスタンスを生成する役割がある。また、管理ピアは、担当する領域でセンサ情報を取得したモバイル端末を管理する。

本研究では IaaS 型クラウドに用いるための仮想マシンモニタとして Xen を、リモートからの動的な仮想マシンの生成や起動に libvirt を用いる。初期状態として Xen がインストールされた計算機とディスパッチャを担当する仮想マシン、管理ピアを担当する仮想マシンを生成するための仮想マシンイメージをサービス事業者は用意する。仮想マシンイメージには、クラウド内ネットワークを構築するための管理ピア用アプリケーションが含まれる。サービス事業者が本システムの稼働を行うと、ディスパッチャは libvirt のリモート管理機能を用いて、Xen がインストールされた計算機上に仮想マシンを生成及び起動する。起動された管理ピアとなる仮想マシンは、クラウド内ネットワークの初期ノードとして他のピアの参加要求とモバイル端末の Subscribe を待ち受ける。

4.3.1 構築手順

管理ピアを 1 つとした場合、管理しなければならない Subscribe 数が管理対象範囲の分割数に比例して増加してしまう。探索クエリを受け取った管理ピアは、保持するデータベースを用いてクエリに含まれる領域 ID に Subscribe を行った端末の IP アドレスを取得する必要がある。また、取得した IP アドレスを用いて各領域でフラッディングを行わないセンサ情報を取得し、探索クエリを発行したユーザへ転送しなければならない。従って、管理ピアが管理する Subscribe 数が一定値を超えた場合に、新たな管理ピアをクラウド内ネットワークに参加させ探索に必要なコストを分散させる必要がある。

クラウド内ネットワークの構築に、管理ピア同士が領域 ID をキー値とした SkipGraph を構築する事で、各管理ピアで管理対象範囲を分割する事が可能になり、また、地理的範囲を用いた探索が可能になる。クラウド内ネットワークの、領域 ID と管理ピア、参加して

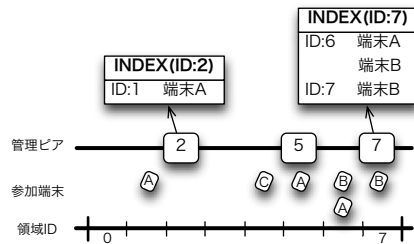


図 4 領域 ID と管理ピア、モバイル端末の関係

Fig. 4 Relationship between area ID, management peer and mobile devices.

いる端末の関係を図 4 に示す。図 4 では、領域 ID が 0 から 7 までの範囲に 3 台のモバイル端末が存在している。端末 A は領域 ID1, 5 及び 7, 端末 B は領域 ID6 及び 7 が表す領域においてセンサ情報を取得し Subscribe を行なっている。それぞれの管理ピアは、自身が担当する領域 ID を $AreaID$, 左ネイバーの担当するエリア ID を $AreaID_L$ とすると、 $AreaID_L < Key \leq AreaID$ となる様なキー値を持つモバイル端末を担当する。従って、領域 ID7 を担当する管理ピアは、ID6 の領域に所属する端末 A と ID6 及び 7 の領域に参加する端末 B の IP アドレスをインデックスとして保持する事になる。

センサ情報密度が高い領域を担当する管理ピアに負荷が集中する事を避けるため、管理ピアを増加させる方法について述べる。初期ノードは、領域 ID の最大値/2 の整数値を計算し、Key 値として用いる事とする。また、管理ピアが担当する事の出来る最大の Subscribe 数を予め定数 $MaxSubscribers$ として定義し、各ノードが保持する。 $MaxSubscribers$ を超える Subscribe を受け取った管理ピアは、担当領域分割要求をディスパッチャに対して送信する。担当領域分割要求には、以下の情報を含める。

- 新管理ピアが担当する領域 ID
- レベル 0 における左ネイバーの IP アドレス及び Key 値
- 自身の IP アドレス及び Key 値

新管理ピアが担当する領域 ID には、Subscriber 数を最も半分近く分割出来る領域を割り当てる。該当する領域が複数ある場合、以下の条件のいずれかに従って決定する必要がある。

- (1) 新管理ピアが担当する領域数が最も多くなる領域
- (2) 該当する領域のうち、要求元管理ピアが担当する領域を半分分割出来る領域

- (3) 新管理ピアが担当する領域数が最も少なくなる領域
- (4) 各領域の Subscribe 数の分布から将来の Subscribe 数の予測を行ない、最も負荷を分散出来る領域

また、ある 1 つの領域に $MaxSubscribers$ を越える Subscribe が存在する場合は、複数の管理ピアが同じ領域を担当する。この時、同一の Key 値を複数の管理ピアが SkipGraph 上で保持する事となるが、その様な Key 値に対してリンクを保持する管理ピアは複数のネイバーを保持し、クエリを全てのネイバーに転送する事とする。担当領域分割要求を受け取ったディスパッチャは、仮想マシンインスタンスの生成及び起動を行なう。起動した仮想マシンインスタンスは、まず初めにディスパッチャに対して接続を行ない、担当領域分割要求の複製を受け取る。担当領域分割要求に含まれる領域 ID を自身の Key 値とし、右ネイバーを要求送信元の IP アドレスと Key 値に、左ネイバーを要求送信元の左ネイバーの IP アドレスと Key 値にそれぞれ設定する。新規管理ピアは、左右のネイバー宛に SkipGraph の insert メッセージを送信する。insert メッセージには以下の新規管理ピアの情報が含まれている。

- Key 値
- IP アドレス

insert メッセージを受け取ったネイバーは、自身のレベル 0 における左又は右ネイバーの Key 値と IP アドレスを更新する。その後右ネイバーは、メッセージに含まれる Key 値を元に自身が担当する領域 ID のうち、新規管理ピアに移譲する必要がある領域の情報を新規管理ピアに送信する。レベル 1 以上のネイバーの更新は、SkipGraph と同様に Membership Vector の探索を行ない実行する。以上の操作によってクラウド内ネットワークにおける担当領域の分割が可能となる。

4.3.2 センサ情報の探索方法

蓄積されたセンサ情報を利用するユーザは、探索クエリを、任意のクラウド内ネットワークに参加するピアにアクセス可能なインタフェースを用いて発行する。発行されたクエリには、取得する経緯度で表された矩形範囲と、矩形範囲に含まれる全ての領域 ID, 対象とするセンサ情報の取得時間の範囲が含まれる。管理ピアは、クラウド内ネットワークを用いて範囲探索を行ない、該当する領域を担当する管理ピアに探索要求を転送する。探索要求を受け取った管理ピアは領域内に所属するモバイル端末にブロードキャストを行なう事で探索要求を転送する。探索要求を受け取ったモバイル端末は、領域内ネットワークを用いて要求に該当するセンサ情報を返す。センサ情報を受け取った管理ピアはクラウド内ネットワークを

用いて探索要求を開始した管理ピアへセンサ情報を送り届ける。

探索要求をユーザから管理ピアへ送り届けたり、結果をユーザへ返すためには本システムを利用するインタフェースが必要となる。このインタフェースには、例えば Web インタフェースを用いることが考えられる。

4.4 領域内ネットワーク

領域内ネットワークではブロードキャストが行われるが、その帯域コストを効率化するために IP マルチキャストを用いたり、木構造のオーバーレイネットワークを構築する事が考えられる。

IP マルチキャストは、同報通信を行うための IP ネットワーク上で用いられる技術である。IP マルチキャストを用いて、ある領域に Subscribe しているモバイル端末に探索クエリを届けるためには、分割された各領域毎にマルチキャストグループを構成する必要がある。マルチキャストグループを構成するプロトコルとして IGMP が存在する。各領域毎にマルチキャストアドレスを割り当て、そのアドレス毎にマルチキャストグループを IGMP を用いて構成する事で、領域内ネットワークにおけるブロードキャストを行う事が可能となる。IP マルチキャストを用いる場合、下層ネットワークである IP ネットワークでも、センサ情報蓄積システムと同様に各領域毎に Subscribe しているモバイル端末情報の管理が必要である点が問題となる。

木構造のオーバーレイネットワークを構築する場合、各領域内で管理ピアを根とした木構造ネットワークと、管理ピアとモバイル端末による一対一のネットワークの2つのネットワークを構成する。クラウド側からモバイル端末への探索クエリの転送は木構造のネットワークを用いてブロードキャストを行う事で、モバイル端末が持つネットワーク帯域の効率的な利用が可能になる。また、モバイル端末からの探索クエリへの返答や探索クエリの発行は、管理ピアとモバイル端末との一対一のネットワークを用いる事で、他のモバイル端末の接続性が失われた場合でもクラウド内ネットワークへの接続性を確保する事が出来る。しかしながら、クラウドとの接続性が確保されていても探索要求が到達しない端末が存在する可能性があるという問題点がある。

5. まとめ

本研究では、モバイル端末によって日常的に収集されるセンサ情報を端末内に保持させたまま、目的とする地理位置に関連付けられたセンサ情報を取得可能なセンサ情報蓄積手法を提案した。管理対象範囲を格子状に分割しセンサ情報を取得した端末の IP アドレスを、取

得した全ての領域において管理する事で、従来手法で問題となる端末間のストレージ負荷の集中を解決出来る。また、センサ情報を取得した端末情報を管理する IaaS 型クラウドを用いたセンサ情報蓄積手法の設計を行った。IaaS 型クラウドを用いる事で、各領域毎のセンサ情報密度の差に対して動的なクラウド内ネットワークを構築する事が可能になる。

今後の課題として、情報収集クライアントやクラウド内ネットワークの実装を行ない設計したセンサ情報蓄積手法の有用性を示す事や、実際に収集された人が移動する軌跡を用いたシミュレーション実験を行ない提案手法の優位性を示す事が挙げられる。また、領域内ネットワークに適用可能な手法として、マルチキャストネットワークに木構造のオーバーレイネットワークを、ラストホップルータとマルチキャストレシーバ間の通信に IP マルチキャストを使う様なネットワークの利用を考慮する必要がある。さらに、センサ情報が取得された時間をキーとして探索を行う事が出来るエリア内ネットワークを設計する事が挙げられる。提案したネットワークでは、各ピアが探索要求に含まれる時間に該当するセンサ情報をデータベースを用いて抽出しなければならない。

参考文献

- 1) Aspnes, J. and Shah, G.: Skip graphs, *ACM Trans. Algorithms*, Vol.3 (online), DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/1290672.1290674> (2007).
- 2) JEITA: 2012 年 2 月 移動電話国内出荷実績. <http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/cellular/2012/02.html>.
- 3) Shu, Y., Ooi, B.C., Tan, K.-L. and Zhou, A.: Supporting multi-dimensional range queries in peer-to-peer systems, *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, pp.173 – 180 (2005).
- 4) Zamora, J. L.F., Kashiwara, S. and Yamaguchi, S.: A Smartphone-based Warning System for Guerilla Rain, *IEICE Technical Report, MoMuC2012-3*, pp.9–14 (2012).
- 5) 総務省統計局：国勢調査，総務省（オンライン），入手先(<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>)（参照 2012-05-22）。
- 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.18, pp.1–15 (2005-12-15)。