卒業論文 2010 年度 (平成 22 年度)

Lupe: 家庭内 WSN におけるユーザとセンサノード間の距離に基づいた情報取得手法

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

徳田　英幸

村井　純

楠本　博之

中村　修

高汐　一紀

重近　範行

Rodney D. Van Meter III

植原　啓介

三次　仁

中澤　仁

武田　圭史

慶應義塾大学 総合政策学部

瀧本拓哉

tacky@ht.sfc.keio.ac.jp

卒業論文要旨 2010 年度 (平成 22 年度)

Lupe: 家庭内 WSN におけるユーザとセンサノード間の距離に基づいた情報取得手法

論文要旨

近年，センサの小型化や低価格化により，様々な種類のセンサが私たちの身の回りに広く設置されつつある．今後，センサを用いたアプリケーションが我々の家庭といった身近な環境にも提供されると予想される．また本研究では，一般的な家がより高性能なものとなり，アプリケーションをネットワーク経由でインストールするようになると考えている．センサやデータベースの知識のないユーザを本研究ではエンドユーザと定義するが，それらエンドユーザが手軽にセンサを用いたアプリケーションを家庭に導入することが可能になると本研究では想定している．エンドユーザが家庭にインストールするアプリケーションの例として環境光の強さによって電灯の明るさを調節する電源管理システムや，家から外出する際に施錠を確認する施錠管理システムなどが挙げられる．

センサを用いたアプリケーションを正しく動作させるためにはアプリケーションが使用するセンサの管理を日常的に行う必要がある．しかし，既存のセンサ管理システムでは画面上でのセンサ管理を行っているので，現実空間上のセンサとの対応付けが難しいといった問題がある．本研究では家庭内に設置されたセンサの管理をエンドユーザが日常的に行う様になると想定している．

本研究では，一般家庭で生活するエンドユーザが操作可能な手法でセンサの異常を発見することを可能にする Lupe を提案する．Lupe を使用することで，センサに関する知識のないエンドユーザは日常的にセンサネットワークに発生した問題を発見することが可能になる．見ている対象に近づいていくことでより詳しい情報を取得することができる動作である．

本論文では，虫眼鏡の動作を用いた情報取得手法である Lupe を提案し，実装を行う．最後に，提案した Lupe に対して評価実験を行い，Lupe の有用性を検証する．

キーワード

家庭内センサネットワーク，近づく動作，実世界指向インタラクション，ユビキタスコンピューティング

慶應義塾大学 総合政策学部

瀧本 拓哉

Abstract of Bachelor's Thesis Academic Year 2010

Lupe: Distance between user and sensor nodes based information access technique in a home WSN

Summary

In recent years, sensors have been widely applied as they are increasingly reduced in size and getting cheaper. As such, sensors are also expected to be employed in household applications. As a great number of those applications can be installed into one same environment, there raises a question on managing the employed sensors. However for that later sensors will have the ability of communicating and exchanging data by using the wireless networking technologies, even users with less knowledge about technology will be able to gather information of the sensors to manage them without any difficulties.

Basing on above context, we propose the Lupe system that helps with managing employed sensors by assessing sensors' information and manifesting it to the user when he gets closer to sensors' positions. More specifically, Lupe is capable of acknowledging and allocating sensors which have problems . In order to do that, Lupe scans through all sensors to detect warning signal coming from sensors which do not work well. Besides, the closer the user get to that sensor, the more detailed the information of that sensor will be shown. Therefore, with the help of Lupe, end users can easily figure out sensors' problems in a home WSN.

Through this thesis, the information assessing technique which based on the distance between users and sensor nodes is proposed. In addition to, the implementation and the evaluation of Lupe system are also demonstrated. The evaluation experiment's result has verified that such a system like Lupe is useful in the environment in where a number of sensors are set up.

Keywords
Household Sensor Network , Approaching Motion, Reality Oriented Interaction, Ubiquitous Computing

Keio University Faculty of of Policy Management
Takuya Takimoto

目次

第 1 章　序論 1

1.1　本研究の背景 2

1.2　本研究の問題意識 4

1.3　本研究の目的 4

1.4　本論文の構成 5

第 2 章　実空間型情報取得手法 6

2.1　情報取得手法 7

2.1.1　センサネットワークにおける情報取得の概念 7

2.1.2　情報取得手法の持つ機能 8

2.2　情報取得手法の分類 9

2.2.1　仮想空間型情報取得手法 9

2.2.2　実空間型情報取得手法 10

2.2.3　Lupe 11

2.3　問題意識 11

2.4　機能要件 14

2.5　まとめ 15

第 3 章　関連研究 16

3.1　既存の手法 17

3.1.1　SQL 文を利用する手法 17

3.1.2　AR マーカを用いた手法 17

3.2　機能要件をもとにした比較 18

3.3　関連研究 19

3.3.1　SpyGlass 19

3.3.2　MonSense 19

3.3.3　uMegane 19

3.4　まとめ 20

第 4 章　Lupe: 家庭内 WSN におけるユーザとセンサノード間の距離に基づいた情報取得手法の提案 21

4.1　近づける動作を用いた情報取得手法 22

4.2　Lupe における情報取得手法 23

4.2.1　情報の抽象度のモデル 23

4.2.2 情報の提示ポリシー 24
4.3 Lupe の動作概要 24
4.4 システムの流れ 25
4.5 近づける動作における要件 27
4.6 まとめ 29

第 5 章 Lupe の設計 31
5.1 センサノードの設置 32
5.1.1 位置情報 32
5.1.2 AR マーカとの対応付け 32
5.2 近づける動作の設計 32
5.2.1 近づける動作 33
5.3 情報表示の設計 34
5.3.1 情報の表示段階 34
5.4 Lupe のシステム概要 35
5.5 環境側アプリケーションの設計概要 35
5.5.1 ソフトウェア構成 36
5.5.2 ハードウェア構成 36
5.6 Lupe におけるユーザ側アプリケーションの設計概要 38
5.6.1 ソフトウェア構成 38
5.6.2 ハードウェア構成 39
5.7 まとめ 39

第 6 章 Lupe の実装 40
6.1 環境側アプリケーション 41
6.1.1 ハードウェア 41
6.1.2 ソフトウェアの実装 41
6.2 ユーザ側アプリケーション 43
6.2.1 ハードウェア 44
6.2.2 ソフトウェア 44
6.2.3 ソフトウェアの実装 44
6.3 まとめ 45

第 7 章 評価 46
7.1 評価実験の概要 47
7.1.1 実験環境 47
7.1.2 屋内におけるユーザ位置情報の取得 47
7.1.3 被験者 48
7.1.4 実験手順 48
7.1.5 アンケート項目 49
7.1.6 評価結果 49

7.1.7 アンケートで得られた感想 51
7.1.8 異常の起きているセンサノードの特定に要した時間 51
7.2 考察 52
7.3 まとめ 53

第 8 章 結論 54
8.1 今後の展望 55
8.2 今後の課題 55
8.3 本論文のまとめ 55

参考文献 58

図目次

1.1 参考文献:電波新聞社発行「センサーのしくみ」より参照 2
1.2 SmartDust のイメージ 3
1.3 SensorWeb のイメージ 3

2.1 センサネットワークにおける情報取得の概念図 8
2.2 eKoMOTE でのセンサノードの選択画面例 9
2.3 phpMyAdmin の操作画面例 10
2.4 セカイカメラの利用例 11
2.5 物理的な制約のシナリオ図 12
2.6 センサノードの特定シナリオ図 13
2.7 問題の切り分けシナリオ図 13

3.1 AR マーカ 18
3.2 センサノードに貼られた AR コード 18
3.3 SpyGlass の構成図 19
3.4 SpyGlass の表示画面例 19
3.5 MonSense のデータ表示画面 20
3.6 MonSense のトポロジ表示画面 20
3.7 uMegane のデータ表示画面 20

4.1 近づける動作を用いた情報取得手法のイメージ 22
4.2 Lupe の動作概要図 24
4.3 システムの利用の流れ 1 25
4.4 システムの利用の流れ 2 26
4.5 システムの利用の流れ 3 27
4.6 システムの利用の流れ 4 28
4.7 システムの利用の流れ 5 29
4.8 システムの利用の流れ 6 30

5.1 AR マーカをセンサノードに取り付けたイメージ 32
5.2 近づける動作のイメージ 33
5.3 近づける動作による画面遷イメージ 34
5.4 環境側アプリケーションのソフトウェア構成図 37

5.5 環境側アプリケーションのハードウェア構成図 37
5.6 ユーザ側アプリケーションのソフトウェア構成図 38
5.7 ユーザ側アプリケーションのハードウェア構成図 39

6.1 URG-04LX-UG01 41
6.2 SunSpot 42
6.3 URG-04LX-UG01 の配置 43
6.4 iPhone 4 44

7.1 τ 41 実験スペース 47
7.2 Lupe の評価に用いた評価用紙 50

表目次

3.1 既存手法における機能要件の満足度 18

7.1 既存の位置情報取得手法の精度 48
7.2 実験 1:被験者の性別分布 48
7.3 実験 1:被験者の年代分布 48
7.4 設問 1「AR を用いた情報提供はわかりやすかった」の回答結果 49
7.5 設問 2「情報の表示段階は三段階で十分だと思った」の回答結果 49
7.6 設問 3「システムを操作する際に負担を感じた」の回答結果 51
7.7 設問 4「日常的なセンサ管理を行う際に有用だと思った」の回答結果 51
7.8 設問 5「対象が多数存在する場合有用だと思った」の回答結果 51
7.9 設問 6「異常の起こっているセンサを特定することが容易だった」の回答結果 51
7.10 異常の起きているセンサノードの特定に要した時間 52

第 1 章

序論

本章では，はじめに本論文における背景を述べる．ついで，本論文における目的と目的を達成する為の機能要件を説明する．最後に本論文の構成を示す．

1.1　本研究の背景

近年，環境情報から得られるアナログ信号のデータをデジタル信号のデータに変換するセンサノードと呼ばれるデバイスが広く普及している．センサノードを用いることで環境のデータを取得することができる．このように，センサノードを使用して環境の情報を取得することをセンシングという．図 1.1 にあるようにセンシングするデータの種類により様々なセンサノードが存在する．

センサの種類

	検出媒体	素子およびユニット
1	光 紫外線 可視光線 赤外線 光センサ	焦電赤外線センサ、アモルファスシリコン、フォトダイオード、フォトアバランシェダイオード、PSD、太陽電池、CDS セル、CCD、CMOS、イメージセンサ、フォトトランジスタ、フォトIC、フォトマル、撮像管（サチコン）、光電管、UV トロン
2	磁気 磁気センサ	ホール素子、MR 素子、磁針、電磁誘導近接スイッチ、磁気飽和型素子、磁気ヘッド（検出コイル型、半導体型）、リードスイッチ、SQUID（超電導量子干渉装置、ジョセフソン素子）、インダクトシン、慈歪線スケール、光ファラデー効果センサ、ウイガントワイア、カレントトランス、差動トランス、マグネスケール
3	超音波 振動 振動センサ 超音波センサ	マイクロフオン（電磁式、圧電式）振動センサ（フェライト、チタン酸バリウム）、セラミックス振動センサ（水晶）衝撃センサ、圧電振動ジャイロ、半導体加速度センサ、圧電素子、加圧導電シート（ゴム）、ブルドン管、半導体
4	圧力 圧力センサ	圧力センサ、感圧ポリマ、ベローズ、ダイアフラム（薄膜型圧力センサ、拡散型圧力センサ）、トーションバ、ストレンゲージ（ロードセル）
5	温度(赤外線) 温度センサ (赤外線センサ)	サーミスタ、感温抵抗（白金）、焦電型赤外線センサ、水晶温度センサ、フオトダイオード（量子型赤外線センサ）、サーモカップル、感温フェライト、温度フューズ、液晶、水銀（アルコール）温度計、サーモカメラ、暗視装置、IC 化温度センサ
6	ガス (気体、臭い) ガスセンサ (湿度センサ)	酸化すず、酸化亜鉛、金属酸化物半導体、白金線、厚膜構造セラミックス、酸化すず系熱線型焼結半導体センサ、ジルコン酸チタン酸塩
7	イオンセンサ	アクティブ方式、パッシグ方式（金属板電位差）
8	放射能センサ	ガイガー管（GM 管）、シンチレーションカウンタ
9	バイオセンサ	酸素、アルコール、アミノ酸、アンモニアetc

図 1.1　参考文献:電波新聞社発行「センサーのしくみ」より参照

また，無線通信技術や半導体技術の進歩により，センサノードの小型化が進み，無線通信機能を備えたセンサノードが急速に拡大している．これによりセンサノードを人やモノに付けたり，車などの動き回る機器にも取り付けることが可能になった．

また，それに伴い，センサノードが互いに通信し合う Wireless sensor network(以下 WSN) が普及している．WSN では，センサノードは自身が得たデータを単に基地局に発信するだけではなく，複数のセンサノード同士が通信するアドホック通信を可能にする．アドホック通信を用いることで，WSN ではより広範囲のセンシングが可能になる．またセンサノードが故障した場合，センサノード同士が通信しあい動的に新たなトポロジを形成する機能を WSN では備えている．

ユビキタスコンピューティングの分野では WSN を用いたアプリケーションが広く開発されている．

カルフォルニア大学バークレー校で開発された SmartDust [1] は照度センサや加速度センサを内蔵した塵のように小さいセンサノードである．センサノード同士がアドホックに通信するので小さいので至る所に埋め込むことで情報を取得することが可能である．また，NASA が火星の長期定点観測を行うために開発している Sensor Web [2] と呼ばれるセンサネットワークがある．SensorPod と呼ばれる小型のセンサノードを火星表面に多数散布し，火星全域を長期モニタリングする．プロトタイプは弁当箱程度のサイズのものでマルチホップ通信をする．現在，火山活動の監視などを行っている．

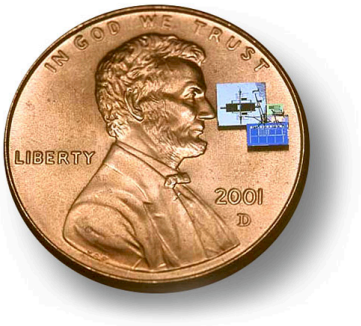

図 1.2　SmartDust のイメージ

図 1.3　SensorWeb のイメージ

今後，センサノードの小型化，低価格化が進むと，これらの WSN は私たちの家庭といった身近な環境にも普及していくことは容易に想像できる．現在，環境光の強さによって電灯の明るさを調節する電源管理システムや，外出する際に施錠を確認する施錠管理システムなどのセンサノードを内蔵した商品が販売されており，私たちの生活にセンサノードは欠かせないものとなっている．

本研究では家庭におけるセンサネットワークやセンサノードを用いたアプリケーションの環境として，以下のような未来を想定している．家自体が高性能なものになり，家庭内に設置されたすべてのセンサノードの値は各家庭にあるセンサ管理サーバが管理している．そして，ユーザが家に必要なセンサノードを用いたアプリケーションをインストールするようになると考えられる．また，近い将来，家電量販店やホームセンターなどで手軽にセンサノードを入手することができる様になると想定しているので，アプリケーション毎に必要なセンサノードをユーザが買い取り付けるようになると想定している．

本研究ではそうした環境が整えば，センサノードを用いたアプリケーションがエンドユーザにも普及すると考えている．センサ管理サーバがすべてのセンサノードの管理を行っているので，エンドユーザの導入コストが軽減される．また，アプリケーションをインストールする際にシステムの動作に必要なデータを取得するセンサノードが家に設置されていなければ，利用者はセンサノードを買い，自分で設置する．設置されたセンサノードのデータはセンサ管理サーバが管理するので，他のアプリケーションでも利用可能である．本研究では以上の様な近未来の環境を想定環境としている．

センサを用いたアプリケーションを正しく動作させるためにはセンサノードの管理を日常的に行う必要がある．センサノードでは電池が切れたり，センサノード自体が物理的に故障したりと様々なトラブルが起こりうる．

1.2 本研究の問題意識

近未来の日常生活においてエンドユーザが家庭内のセンサノードの管理をする必要性を述べた．しかし家庭内にセンサノードが複数存在する環境で異常が起きた場合，既存のシステムでは異常が起きたセンサノードをエンドユーザが特定することは困難である．なぜなら，センサネットワークでは様々な問題が起こりうり，それらの問題を解決するためには，問題の切り分けを行う必要がある．

既存のセンサネットワークを管理するシステムとして，センサネットワークの状況を可視化するシステムが開発されている．それらのシステムを用いることで，異常が起きているセンサをシステムの管理画面内で見つけることはエンドユーザでも可能であるが，実際に現場に行き異常の起きているセンサノードを特定するのは，センサに関する知識がないので困難ある．なぜなら，管理画面では一般的に対象のセンサノードの ID などの情報を取得することが可能であるが．実際に現場に行きセンサノードに書かれている ID をもとに特定する必要がある．そして，異常の起きているセンサを発見した際にもそのセンサにどういった種類の異常が起きているのかの問題の特定がエンドユーザには困難である．

そこで，本研究ではセンサネットワークやデータベースに関する知識のないエンドユーザが操作可能な手法で，センサネットワークで起きている問題を発見出来，センサネットワークの異常の原因を特定できる手法が必要であると考えている．

1.3 本研究の目的

本論文では，家庭内のセンサノードの異常を発見する手法として，情報を知りたい対象に近づいていくという動作を用いた Lupe を提案する．本研究では近づいていくという動作が虫眼鏡を用いて対象の情報を拡大縮小する動作に似ていることから Lupe と命名した．Lupe では，ユーザの持つモバイル端末をかざす動作を行うことで，家庭内のセンサネットワークで起きている異常を発見することを可能にする．これにより，センサネットワークやデータベースに関する知識を持たずに，センサネットワークの異常を発見できる．Lupe では既存の手法では出来なかった，センサネットワークの異常が起きている現場での異常箇所の発見を可能にする．また，本研究ではエンドユーザが操作可能な手法を用いる．以下に，本研究の目的を達成するための機能用件と，その用件を解決するためのアプローチをまとめる．

現実空間での位置関係制約の解消

従来のセンサノード管理システムでは，利用者がセンサノードの問題を発見するのはディスプレイ内の管理画面においてであり，現実空間での位置関係を把握しにくいものとなっている．しかし，本研究で想定しているセンサ管理を行う利用者とはセンサノードやデータベースに関する知識のないエンドユーザなので．管理画面内で異常の起きているセンサノードを発見してから現場にいき，異常を起こしているセンサノードを特定するのは手間がかかる．そして，本研究では環境に多数のセンサノードが埋め込まれる近未来を想定環境としているので，センサノードのある位置をエンドユーザが把握しきれなくなると考えている．そこで，エンドユーザが操作可能な手法で家庭環境内のセンサネットワークで起きている異常を発見でき，異常のあるセンサノードを特定できる必要がある．現実空間での位置関係の制約が解消されれば，エンドユーザは管理画面を見てセンサノードの ID を覚えずに，センサネットワークで起きている問題を発見することが出来る．本論文で提案する対象に近づくという動作を用いた

情報の取得手法では，ユーザがセンサネットワークで起きている問題をその場で発見可能になるので，現実空間での位置関係制約の解消が可能になる．

複雑な操作の排除

家庭内のセンサネットワークを管理するのは，エンドユーザなので複雑な操作を必要としないセンサネットワークの取得を可能にする必要がある．また，センサネットワークで起こる問題は様々な要因が考えられるため，センサネットワーク内のどこで異常が起きているのかの問題の切り分けを行う必要がある．

しかし，家庭内のセンサネットワークの管理をエンドユーザは日常的に行う必要があるので，複雑な操作を必要としてはならない．本論文で提案する対象に近づくことでより詳しい情報を表示するという手法では，特別な操作を行うことなく情報の表示レベルを変更することが出来るので，エンドユーザが手軽にセンサネットワークで起きている問題の切り分けを行うことが可能になる．これにより，エンドユーザは複雑な操作をせずに，センサネットワークで起こっている問題を発見することが可能になる．

1.4 本論文の構成

本論文は，本章を含め全 8 章から成る．本章では，本論文における背景と問題意識，目的を述べた．第 2 章では，本論文における実空間発見型情報取得手法について整理する．そして，実空間発見型情報取得手法における問題意識を洗い出し，機能要件を導く．第 3 章では，本論文における実空間発見型情報取得手法の機能要件を満たす端末を取得対象に近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe を提案する．また，Lupe の関連研究を紹介する．第 4 章では，対象に近づく動作を用いた情報取得手法である Lupe の設計について述べる．第 5 章では，Lupe のプロトタイプ実装の概要を示し，実装の要点を述べる．第 6 章では，対象に近づく動作を用いた情報アクセス手法である Lupe の評価を行う．第 7 章では，本論文の結論と今後の展望について述べる．

第 2 章

実空間型情報取得手法

本章では，はじめに情報取得の概念について整理する．その後，本論文における情報取得手法を定義し，情報取得手法の持つ機能を述べる．ついで，情報取得手法を 2 つに分類し，本論文で提案する情報取得手法の位置づけである実空間型情報取得手法を説明する．つづけて，具体的なシナリオを挙げ，実空間型情報取得手法における問題意識を洗い出す．最後に，問題意識から実空間型情報取得手法の機能要件を導く．

2.1 情報取得手法

本節では，まず，本論文における情報取得について述べ，情報取得の概念を整理する．ついで，整理した情報取得の概念から情報取得手法を定義し，情報取得手法のもつ機能を整理する．

2.1.1 センサネットワークにおける情報取得の概念

本論文における取得対象の情報とはセンサネットワークから得られる情報である．一般的なセンサネットワークには得られた情報や設置されているセンサノードに関する情報を管理しているサーバがある．センサネットワークに参加しているセンサノードは自立分散協調的にデータのやりとりを行い，管理サーバに情報を送信する．センサネットワークにおける情報取得では，管理サーバ内のセンサ情報データベースより，ユーザが必要なデータを取得することである．図 2.1 に本研究におけるセンサネットークにおける情報取得の概念図を示す．

情報取得の概念図からわかるように，センサネットワークにおける情報取得はユーザ，センサネットワーク，センサネットワーク管理サーバ，アプリケーション，情報取得手法の 5 つから構成される．複数のセンサノードから成るセンサネットワークより得られた情報がセンサネットワーク管理サーバ内のデータベースに蓄積される．センサネットワーク管理サーバ内のデータベースに蓄積される情報が，ユーザの情報取得を行う対象である．アプリケーションは，情報取得の際にデータベースサーバ上の情報を取得するソフトウェアである．ユーザがデータベースの情報を取得するための手段として phpMyAdmin [3] などのデータベース接続クライアントが挙げられる．コマンドラインで直接 SQL 文を入力し，情報を取得する行為も本研究ではアプリケーションに分類される．そして，情報取得手法は，ユーザとアプリケーションの間にあり，ユーザがセンサネットワーク上の情報にアプリケーションから取得を行う際に，手助けをするインターフェイスである．GUI ベースのセンサ管理システムとしてあげられる Spyglass [4] は本論文における情報取得手法である．

一般的に，センサネットワークにおける情報取得は以下の手順で行われる．また，図 2.1 には，以下の手順に対応した番号を記載する．

1. 情報取得手法によるユーザの条件に合わせたセンサネットワークに関する情報の提示
2. ユーザによる情報取得対象の選択
3. 情報取得手法によるセンサ管理サーバ内のデータベースへの接続
4. 情報取得手法によるデータベース内の情報の取得

情報取得の手順から分かるように，情報取得手法は，1) ユーザにセンサネットワーク上の情報を提示する機能，2) ユーザの情報取得対象の選択を受け付ける機能，3) センサ管理サーバ内のデータベースへの接続機能．情報取得機能と 3 つ機能を持つ．そして本論文では，センサネットワークにおける情報取得手法を，
前述した 3 つの機能を持つ，ユーザがセンサネットワーク上の情報を取得する際に，手助けをするインタフェースであると定義する．

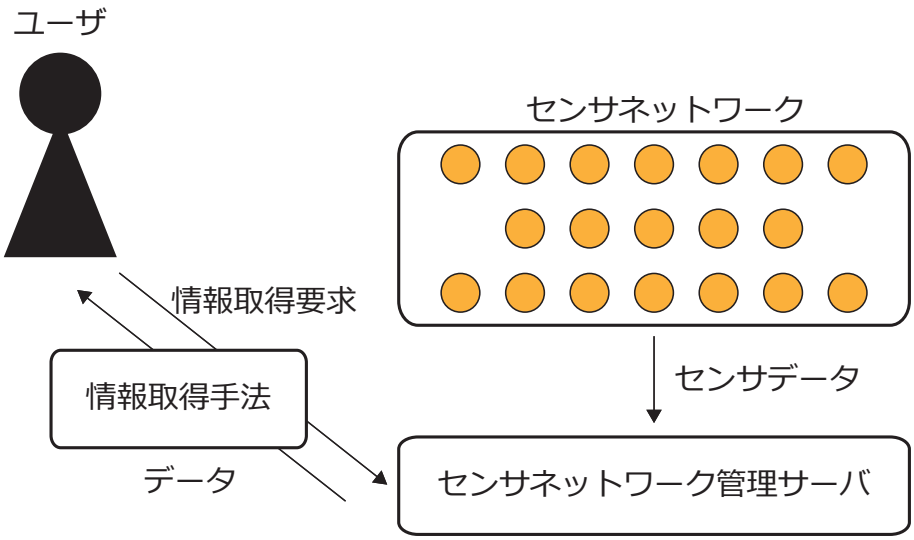

図 2.1　センサネットワークにおける情報取得の概念図

2.1.2　情報取得手法の持つ機能

前項で述べたように，情報取得手法はユーザにセンサネットワーク上の情報を提示する機能，ユーザの情報取得対象の選択を受け付ける機能，センサ管理サーバ内のデータベースへの接続機能，情報取得機能と 3 つの機能を持っている．以下に情報取得手法の持つ 4 つの機能を説明する．

センサネットワーク上の情報を提示する機能

本論文における情報取得手法には，ユーザにセンサネットワーク上の情報を提示する機能を持つ必要がある．ユーザに取得するセンサネットワーク上の情報を選択させるために，あらかじめ選択可能な情報をユーザに知らせる必要がある．センサネットワークの情報取得を行う空間にどのようなセンサノードがあるかをユーザに提示する必要がある．前述した GUI ベースの情報取得手法では取得対象の空間の地図上に設置されているセンサの一覧が表示されユーザに情報の提示を行っている．環境情報センシングシステムである eKoMOTE [5] の管理画面である eKoview を以下に示す．管理画面より，取得対象のセンサノードを指定して情報を描画可能である．

ユーザの情報取得対象の選択を受け付ける機能

本論文における情報取得手法には，ユーザの情報取得対象の選択を受け付ける機能を持つ必要がある．ユーザに選択されることで，取得するセンサネットワークの情報を特定する．具体的にはセンサノードの ID やセンサデータの種類などの選択を可能にする必要がある．また，情報を表示する際に，時刻や期間によって分類を行う．

センサ管理サーバ内のデータベースへの接続機能

本論文における情報取得手法には，ユーザの選択した情報取得対象の情報を取得し，ユーザに提供す

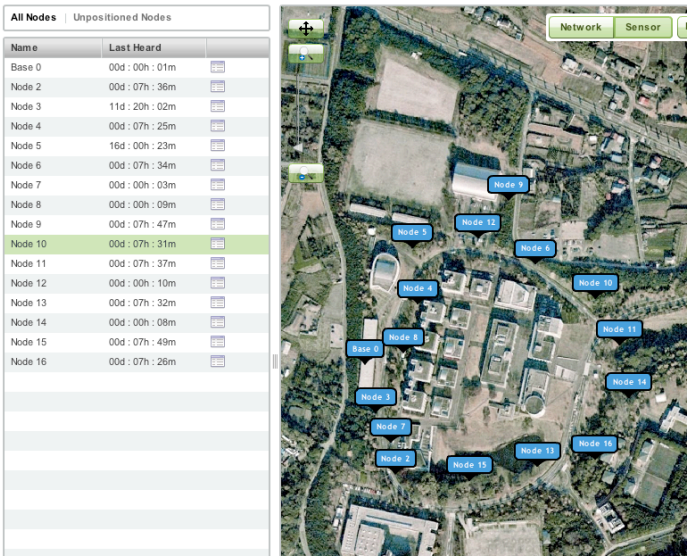

図 2.2　eKoMOTE でのセンサノードの選択画面例

る必要ある．センサ管理サーバ内のデータベースより情報を取得するためには，各センサネットワークを管理している，センサ管理サーバのデータベースに接続する必要がある．そのためには，情報取得対象のセンサネットワークがどのセンサ管理サーバのどのデータベースに情報を蓄積しているのかを把握した上で，データベースに接続する必要がある．

また，センサネットワークの取得対象のデータベースに接続した後，ユーザが指定した条件でセンサネットワークの情報を取得できる必要がある．そのためには前述したユーザの情報取得対象の選択を受け付ける機能により指定された条件を情報提供を行う際に反映させる必要がある．

2.2　情報取得手法の分類

本論文では，情報取得を行う際に，その取得対象の情報を仮想空間，実空間のどちらでしたかで情報取得を仮想空間型情報取得と，実空間型情報取得の 2 つに分類する．すなわち，それぞれの情報取得で利用する情報取得手法を仮想空間型情報取得手法，実空間型情報取得手法とする．以下に，それぞれの情報取得手法について説明する．

2.2.1　仮想空間型情報取得手法

仮想空間内，つまりコンピュータの画面中で取得対象の情報をユーザがする情報取得を本論文では，仮想空間型情報取得と呼ぶ．phpMyAdmin を用いたセンサ情報取得アプリケーションや，コマンドラインに SQL 文を打ちこんでのセンサネットワーク情報取得手法を本研究では仮想空間型情報取得手法と呼ぶ．また，次章の関連研究で詳しく述べるが，既存のセンサネットワーク管理システムは GUI ベースでの管理が主流なので，仮想空間型情報取得に分類される．仮想空間型情報取得手法は，情報取得の特定をコンピュータの画面内で行うので，現実空間との位置関係の対応付けを行う必要がない．図 2.3 に phpMyAdmin の管理画面を示す．

phpMyAdmin では GUI ベースの操作で取得したいセンサノードの情報を取得することが可能である．また，データベースの管理も画面内で可能である．

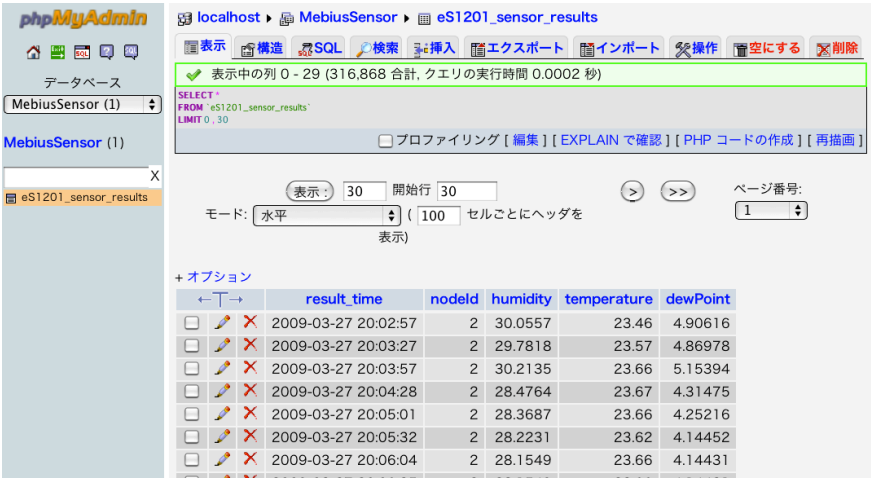

図 2.3　phpMyAdmin の操作画面例

2.2.2　実空間型情報取得手法

実空間型情報取得は，現実空間で情報取得対象の特定を行う情報取得手法である．本論文では，取得したいセンサネットワークが設置されている現場に行き，その場で取得対象を特定し，情報を取得する行為を現実空間型情報取得と呼ぶ．本論文では，実空間型情報取得手法において対象となるセンサノードが固定されている場合における問題を解決する手法を提案する．そして，以降での実空間型情報取得手法では対象となるセンサノードが固定されていることを前提とする．そのため，実際にセンサネットワークが存在する現場に行き，センサの ID を確認し，コマンドラインに SQL 文を用いてセンサ管理サーバ内のデータベースから必要な情報を取得するという手順を踏めば本研究では，現実空間型情報取得となる．また，実空間型情報取得手法としてセカイカメラなどが挙げられる．セカイカメラ [6] では GPS 情報と共に保存された写真やメッセージを他人と共有することができるシステムである．携帯端末のカメラで取得した映像に保存されている情報がオーバーレイされ表示される．位置に応じた情報の取得を行えるため，観光地などでその場ならではの情報発信を行えるメリットがある．

実空間型情報取得は，さらに情報取得対象のセンサノードが固定されているか，または動くものについているかの 2 つに分類出来る．本研究で対象としている家庭内のセンサネットワークにおいては，設置されるセンサノードは固定のものが多く，移動しないものがほとんどである．実空間型情報取得手法では，ユーザのいる環境からユーザに負担をかけることなく情報取得対象を特定することを可能にする必要がある．また，本研究では家庭内に多数のセンサノードがちりばめられる環境を想定環境としてあげているので，それらの中から情報取得対象の特定を可能にする必要がある．

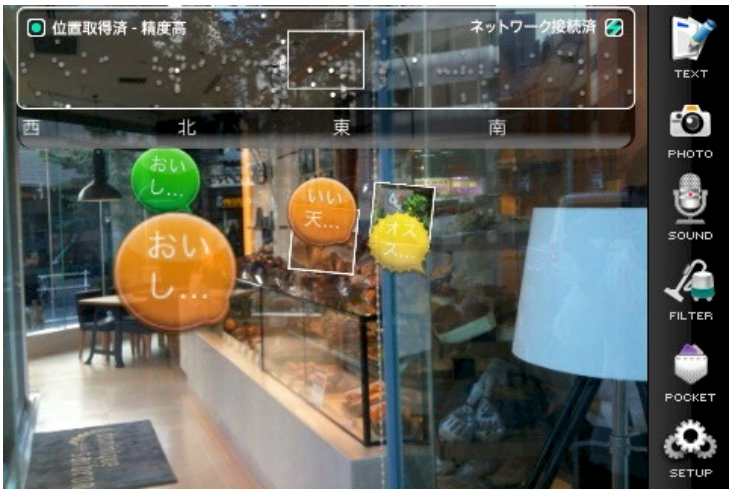

図 2.4　セカイカメラの利用例

2.2.3　Lupe

本論文で提案する Lupe は，実世界型情報取得手法である．Lupe では，センサデータを取得する空間に実際にユーザが行き，その場でセンサネットワークに関する情報を取得できる必要がある．実世界型情報取得手法を用いることで，センサノードが複数ある環境において，センサネットワークで起きた問題を発見することが可能になる．次節で，センサネットワークに関するシナリオを挙げ，問題意識を述べる．

2.3　問題意識

本節では，本論文で想定する家庭内のセンサネットワークで起こりえる 3 つのシナリオを述べ，その後，問題意識を洗い出す．

実空間型情報取得手法では，家庭内に設置されているセンサネットワークを対象とし，情報取得対象を家庭に設置されている固定のセンサノードとする．本研究では，これらの固定されたセンサノードが家庭内に多数設置されるようになると考えている．第 2.2.2 項で述べたように，実空間型情報取得手法では，現実空間においてユーザが情報取得対象を特定できる必要がある．本研究で想定している家庭内のセンサネットワークにおいてユーザが実空間型情報取得を行うには，さまざまな問題が発生する．以下に，本論文で想定する家庭内のセンサネットワークで起こりうるシナリオを挙げ，問題意識を洗い出す．

シナリオ 1：物理的な制約

T 君は家庭に電灯管理アプリケーションを導入している．電灯管理アプリケーションとは家庭内の至る所に設置された照度センサが環境光を測定しており，暗くなると自動的に電灯が付き，明るくなると電気が消えるというアプリケーションである．ある日，前日まで動いていた電灯管理アプリケーションが，暗くなっても電気がつかなくなった．居間にあるセンサ管理画面サーバの管理画面をみると T 君

の自室に取り付けてあるセンサ ID「70705767」というセンサの電池が切れているようだ．そこで，T 君は管理画面に示された位置を記憶して，自室に行き天井に設置されているセンサノードを探しにいった．しかし，ID が似ているセンサが複数あるので，途中で ID を忘れてしまい，もう一度居間にあるセンサ管理サーバの管理画面を見に行かなくてはならなくなった．T 君は電源が切れているセンサノードを探すのにとても時間がかかってしまった．

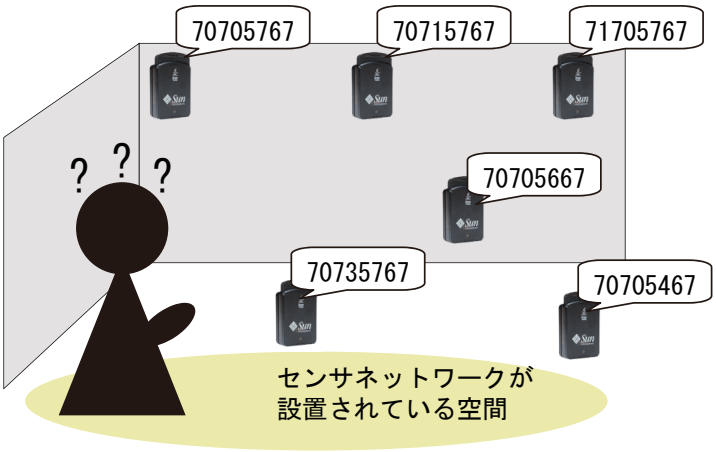

図 2.5　物理的な制約のシナリオ図

シナリオ 2：センサノード特定

T 君は引っ越しをすることになった．家庭内に設置しているセンサノードを引っ越し先の家庭でも使いたい T 君はセンサノードを回収することにした．センサノードを見ただけではどのアプリケーションに使われていたものかを把握できないので，前述のセンサ管理サーバの管理画面を確認しながら回収しなければいけない．センサノードの種類毎に回収しようと考えた T 君は，管理画面をセンサ毎の表示に切り替え探すことにした．しかし，似たような ID のセンサノードが家庭内に多数存在するので，とても時間がかかってしまった．

シナリオ 3 :問題の切り分け

ある日，前述した電灯管理アプリケーションが故障してしまった．センサ管理サーバの管理画面をみるとセンサノード間のトポロジがおかしいようだ．そこで，T 君はトポロジ図をみて通信経路が確立されていない箇所のセンサノードを確認することにした．T 君は電源の切れているセンサノードが原因なのではないかと考え，問題の箇所付近のセンサノードの電源を入れ直してはセンサ管理画面を確認するという作業を行うことにした．しかし，あるセンサノードだけが電源を入れ直しても起動することはなく，どうやらセンサノードが物理的に故障していたようだ．T 君は新しいセンサノードを購入して取り付け，電灯管理アプリケーションを復旧させた．

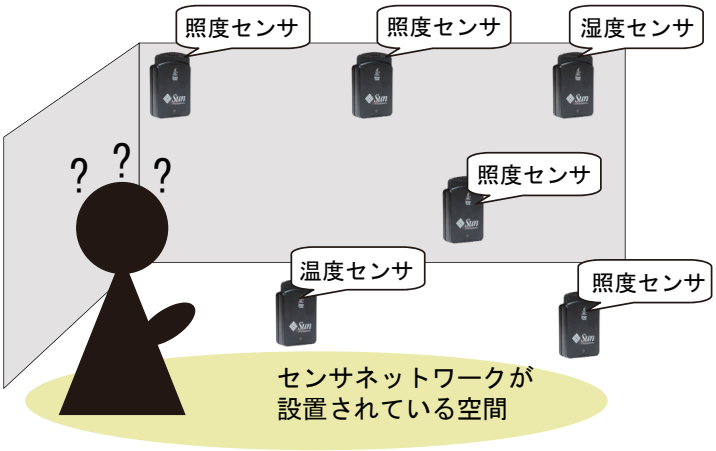

図 2.6　センサノードの特定シナリオ図

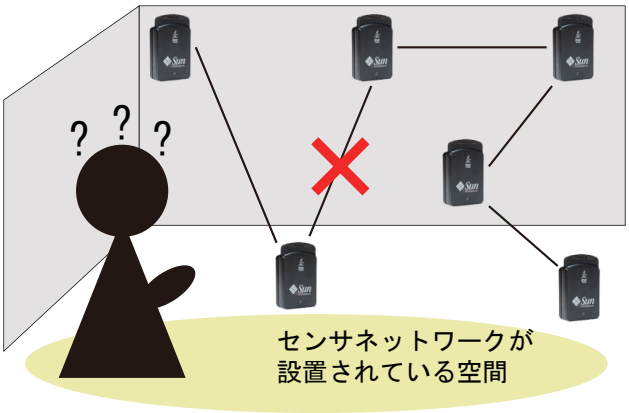

図 2.7　問題の切り分けシナリオ図

以上，3 つのシナリオをもとに実空間型情報取得手法の問題点を洗い出した．第 2.2.2 項で述べたように実空間型情報取得手法では，ユーザが情報取得対象の特定を実空間上で行う．このため，シナリオ 1 のように，情報取得対象の特定を仮想空間で行う手法では現実空間に特化した特定を行うことが困難である．また，シナリオ 2 のように，特定の条件で情報取得対象を特定したい要求がユーザにある場合にも同じ理由で特定を行う

ことが困難である．そして，シナリオ 3 であげたようにセンサネットワークでは色々な問題が起こりうる．家庭内のセンサネットワークにおいても，問題を切り分けて特定できる必要があるが，仮想空間型情報取得手法では問題の切り分けと情報取得対象の特定を同時に行うことは困難である．このような問題点を解決する実空間型情報取得手法を確立すべきである．また，本研究ではエンドユーザが実空間型情報取得手法を行うと考えているので，エンドユーザが操作可能な手法が必要である．

2.4 機能要件

前節で述べたように，家庭内のセンサネットワークではさまざまな問題が生じる可能性がある．本節では，このような環境でも利用可能な実空間型情報取得手法としての機能要件を前節のシナリオを元に整理する．

物理的な制限の解消

シナリオ 1 において，T 君はセンサ管理サーバの管理画面のある居間と実際に問題の起きている自室間の物理的な制約があり，電池のきれている ID「70705767」のセンサノードの特定に時間がかかってしまった．また，管理画面内で表示された ID と実際に問題の起きているセンサのノード間でのひも付けるものが T 君の場合は記憶だったので，忘れるともう一度確認しにいくという手間が発生してしまっている．そして，現場には同じような ID のセンサノードが多数存在するので，特定する為にも一つ一つのセンサノードの ID を確認するという手順が必要になる．このように，家庭内のセンサネットワークにおいて，問題が起きているセンサノードを特定するためには，ユーザに負担をかけてしまう．そのため，実空間型情報取得手法では，ユーザと実空間上の情報取得対象との間に物理的な制限を設けない手法が求められる．

センサノードの特定

シナリオ 2 において，T 君はセンサノードの種類毎に家庭内に設置されているセンサノードを回収する必要があったが，居間にあるセンサ管理サーバの管理画面を見ながら探す必要がありとても時間がかかってしまった．このように，環境内にセンサノードが多数存在する場合，特定の種類のセンサノードだけを発見する必要があるシーンが起こりうる．また，アプリケーションをアンインストールする際にも，そのアプリケーションが利用していたセンサノードを発見する必要がある．そのため，実空間型情報取得手法では，ユーザはセンサネットワークが設置されている空間にいながら，ユーザの指定した条件にあったセンサノードを発見出来る手法が求められる．

問題の切り分けの実現

シナリオ 3 において，T 君はセンサネットワークで起こっているトポロジの問題を解決するために，周辺のセンサノードの電源を入れ直すという手法をとった．この時点で T 君は電池が切れているセンサノードがあるのではないかと考えている．実際には，電池が切れているセンサノードがあったのではなく，物理的に故障したセンサノードが原因でトポロジがおかしくなっていた．このように，センサネットワークで起こる問題では原因を正しく切り分ける必要がある．家庭内のセンサネットワークの管理を行うのはエンドユーザなので，実空間型情報取得手法では，問題の切り分けをエンドユーザにも可能な手法で実現する必要がある．

2.5 まとめ

本章では，はじめに一般的な情報取得の概念を整理し，情報取得手法を定義した．ついで，情報取得手法を仮想空間型情報取得手法と，実空間型情報取得手法に分類し，それぞれを説明した．その後，シナリオを用いて実空間型情報取得手法における問題意識を整理し，機能要件を導いた．次章では，本章で導いた機能要件をもとに既存の手法と関連研究を整理し，本研究の意義を示す．

第 3 章

関連研究

前章では，本論文で想定する家庭内のセンサネットワークにおける実空間型情報取得手法の問題意識を洗い出し，3 つの機能要件を導き出した．本章では，まず既存の実空間型情報取得手法と関連研究を紹介し，それぞれについて説明する．その後，前章で導きただした 3 つの機能要件を元に紹介した手法を整理し，本研究の意義を示す．最後に，整理した関連研究及び既存の実空間型情報取得手法から，機能要件となる解決すべき 2 つの問題意識の要因を考察する．

3.1 既存の手法

本節では，既存の実空間型情報取得手法を示し，その手法の特徴や問題点などを説明する．

3.1.1 SQL 文を利用する手法

一般的に，センサネットワークで得られた情報はセンサ管理サーバ内のデータベースに蓄積されている．そこで，既存の現実空間型情報取得手法として，一般的にはコマンドライン操作によってデータベースに蓄積されているセンサノードの情報を取得する．ユーザはセンサ管理サーバにログインした状態で，データベースから情報を取得する際に，SQL 文という文章を用いる．以下に SQL 文の例を示す．

```
SELECT * from Sensor_table where SensorID = '1' order by timestamp desc limit 1
```

例の SQL 文では テーブル `Sensor_table` から SensorID の情報を timestamp で降順に並べたときのうち 1 つの情報を要求している．SQL 文を用いてユーザがセンサネットワークの情報を取得する際に以下の条件が必要となる．まず，第一にセンサ管理サーバにコマンドライン操作をし，ログインする必要がある．また，取得対象のセンサネットワークの情報がデータベース内のどのテーブルに格納されているのかといった情報や，データベースの構造を知る必要がある．そして，SQL 文を用いて実空間情報取得手法を行う際には取得対象のセンサノードの ID を知る必要がある．これらの条件をクリアすることで SQL 文を用いた実空間情報取得手法が利用可能である．故に，本研究で想定しているエンドユーザはセンサネットワークに関する知識やデータベースに関する知識がないので，不適である．

3.1.2 AR マーカを用いた手法

図 2.2 に AR マーカの例を示す．AR マーカの認識は，マーカの周りの黒枠をまず判別した後，その中のパターンの認識を行っている．以上の理由により，AR コードがすべて見える状況で，読み込まなければシステムに認識されないという欠点がある．私の所属する研究室で uMegane [7] という研究が行われている．この研究ではセンサノードにつけられた AR マーカを読み込むことでセンサノードを特定しそのコードが貼られているセンサノードの情報を表示する．この研究ではセンサノードに関する知識やデータベースに関する知識のないエンドユーザを対象にセンサノードの情報を提供を可能にしている．また，AR マーカを用いたセンサネットワークのトポロジの表示を行う島田らが研究した EVANS というシステムがある．EVANS [8] では，uMegane では実現していない，センサ間のトポロジを表示可能にしている．これらのシステムでは先に挙げた SQL 文を用いたデータのリクエストを内部的に行っているので，ユーザは SQL 文を入力せずに情報を取得可能なので，エンドユーザがセンサネットワークの情報を取得する際に適している．しかし，本研究で想定している，家庭内にセンサノードが多数設置される環境においては描画対象を認識することが困難なので，s 不適である．

図 3.1　AR マーカ

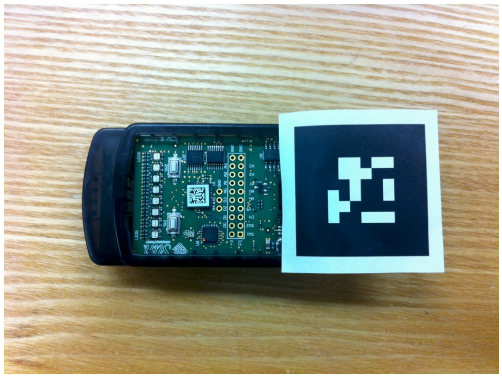

図 3.2　センサノードに貼られた AR コード

3.2　機能要件をもとにした比較

本節では，前章で導き出した 3 つの機能要件をもとに，第 3.1 節，第 3.2 節で紹介した実空間型情報取得手法を比較する．ついで，実空間型情報取得手法における問題意識の要因を考察する．

既存の手法

前章で導き出した実空間型情報取得手法における 3 つの機能要件をもとに，第 3.1 節で示した既存の実空間型情報取得手法における満足度を表 3.1 に示した．

表 3.1 の比較結果が示す通り，既存の実空間型情報取得手法には，本研究で想定しているエンドユーザが利用する上で必要な 3 つの機能要件を満足に満たす手法はない．エンドユーザは SQL 文を用いた情報取得を行うことが困難であると考えるので，要件を満たしていないとした．また，AR マーカを用いた手法では，取得対象となるセンサノードを見つけることが出来れば情報の取得が可能であるので，物理的な制限の解消と，センサノードの特定については要件の半分を満たすとした．

表 3.1　既存手法における機能要件の満足度

既存手法	物理的な制限の解消	センサノードの特定	問題の切り分けの実現
SQL 文を用いた手法	×	×	×
AR マーカを用いた手法	△	△	×

エンドユーザが家庭内のセンサネットワークにおいて，情報を取得するためには以下の機能要件を全て満たす手法である必要がある．以下に，実世界型情報取得手法を提案している関連研究を述べる．

3.3 関連研究

本節では，本論文における実空間型情報取得手法である関連研究を紹介し，その手法の特徴や問題点などを説明する．

3.3.1 SpyGlass

Buschmann らが研究した，SpyGlass [4] はセンサネットワークの状況を可視化するフレームワークである．図 3.3 のようにセンサネットワークから得られたデータはゲートウェイノードに集めらた後，ビジュアライゼーションノードに送られる．レイヤリング機能を備えているのでビジュアライズする際に，送られてくるデータ毎に表示する内容を変化させることが可能である．また，ユーザが新たにセンサノードを追加した際にシステムに追加可能なプラグイン機能を備えている．SpyGlass システムはセンサネットワークの情報の表示が管理画面で行われるため，現実空間との物理的な隔たりがある．また，センサネットワークのリアルタイムな情報の表示が可能であるが，センサネットワークに問題が起こった場合に表示されないといった問題がある．

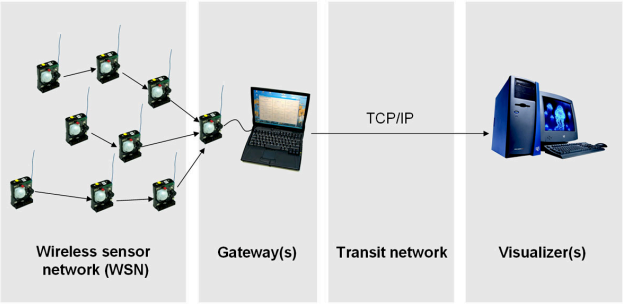

図 3.3　SpyGlass の構成図

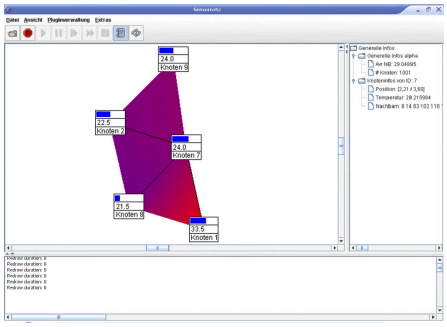

図 3.4　SpyGlass の表示画面例

3.3.2 MonSense

Jose Pinto らが研究した，MonSense [9] は WSN の設計，開発，モニタリング，制御を可能にするシステムである．WSN のコネクションをシミュレーションしたり，位置情報によるデータ取得を可能にしている．また，WSN のトポロジを表示することも可能である．このシステムを用いることで，遠隔地において WSN の通信経路の設計から情報の取得まで可能になる．しかし，先に挙げた SpyGlass と同じく管理画面内での情報表示を行うため，現実空間との隔たりがある．以下に MonSense の動作画面を示す．

3.3.3 uMegane

uMegane [7] は徳田研究室の今枝らが研究したシステムである．センサノードの情報を AR 技術を用いて画面内にセンサノードの情報を表示することでエンドユーザが取得可能な手法を実現した．ユーザは特別な操作をすることなく，センサノードの情報を取得することが可能である．また，センサノードが過去に取得した情

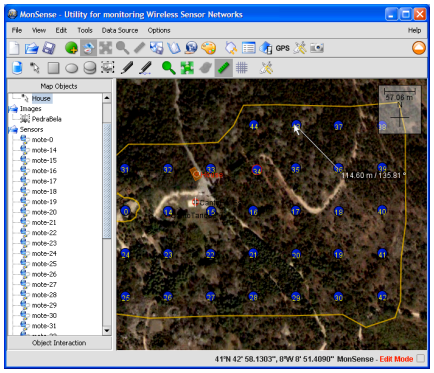

図 3.5　MonSense のデータ表示画面

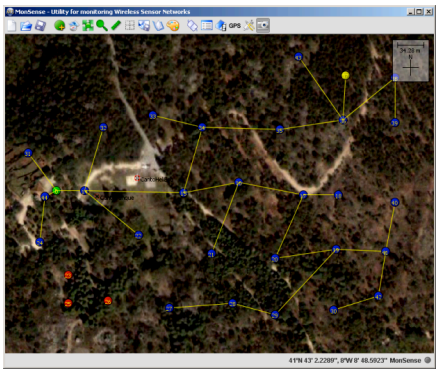

図 3.6　MonSense のトポロジ表示画面

報を表示するタイムマシーン表示を可能にしているので，センサが取り付けられた対象が現在までどのような動きをしていたかといった情報を取得可能である．しかし，uMegane で想定している表示対象はセンサノードに貼られた AR マーカをシステムが認識可能な距離に存在するものであり，環境内に多数のセンサノードが設置された場合，センサの認識が困難であるといった問題がある．

図 3.7　uMegane のデータ表示画面

3.4　まとめ

本章では，既存の実空間型情報取得手法及び，関連研究を紹介し，それぞれについて説明した．ついで，前章で導き出した 3 つの機能要件をもとに紹介した手法を整理し，本研究の意義を示した．次章では，本論文が想定する家庭内のセンサネットワークにおける実空間型情報取得手法の機能要件を満たす端末を近づける動作を用いた情報取得手法の提案を行う．

第 4 章

Lupe: 家庭内 WSN におけるユーザとセンサノード間の距離に基づいた情報取得手法の提案

本章では，本論文で想定する家庭内のセンサネットワークでの実空間型情報取得手法として，携帯端末を近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe を提案する．はじめに，近づける動作における情報取得手法についての概要を説明する．ついで，本論文で提案する近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe についての説明を行う．最後に，Lupe における研究課題を述べる．

4.1　近づける動作を用いた情報取得手法

本論文では，実空間型情報取得手法として，対象のセンサノードにモバイル端末を近づける動作を用いて情報に取得する手法を用いた Lupe を提案する．Lupe では，家庭内に設置されたセンサネットワークの情報を携帯端末を通して可視化する．そして，取得対象となるセンサノードに携帯端末を近づけるという動作を行うことで，表示する情報を詳しくする．これによりエンドユーザはセンサネットワークに関する知識やデータベースの操作を直接することなく，センサネットワークの情報を取得することが可能になる．

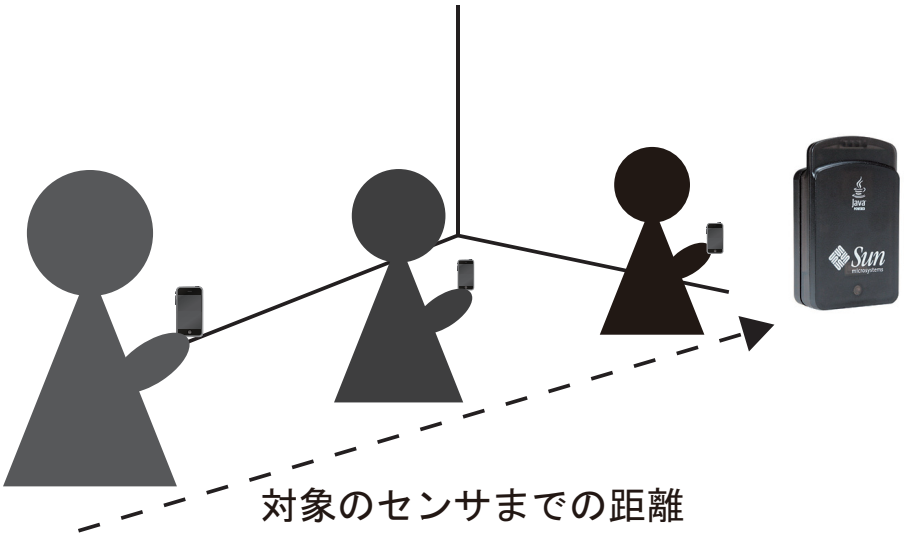

図 4.1　近づける動作を用いた情報取得手法のイメージ

Lupe のアプローチ

第 3.4 節で述べたように，ユーザが現実空間内に設置されたセンサノードの物理的な位置を把握せずとも，取得対象となるセンサノードを特定可能にすることで，物理的な位置の制約のない情報取得を実現する．本論文では，動作として端末を近づける複雑な動作をユーザに課すことなく情報取得取得可能な手法である Lupe を提案する．Lupe では，複雑な操作を行うことなく，情報の取得対象の条件を指定可能にすることで，センサネットワークの情報を取得するというエンドユーザには敷居の高い情報取得を実現する．また，表示する粒度を取得対象との距離によって自動的に変化させることにより，エンドユーザが特別な操作を行うことなく情報の表示モードを切り替えることを可能にする．そして，あらかじめ端末の操作画面で，表示するセンサノードの種類や，アプリケーション毎の表示を可能にすることで表示情報のフィルタリング機能を実現する．以下に第 2.4 節で述べた実空間型情報取得手法の機能要件に対する Lupe のアプローチを述べる．

物理的な位置の制約の解消

第三章で述べた実空間型情報取得手法ではセンサネットワーク内の情報取得対象の特定を物理的に行う必要がある．例えば，SQL 文を用いた手法では，取得対象となるセンサノードの ID を現実空間で取

得した後，SQL 文を書かなくてはならない．また，センサ管理サーバ内のデータベースの構造を知らないと，目的の情報を取得する SQL 文を作成することが出来ない．また，AR マーカを用いた手法では，AR マーカを認識可能な距離でシステムを動作させる必要がある．

本論文では，家庭内のセンサネットワークの情報を取得する際に，その場で携帯端末をかざして取得対象の発見を行う．また，取得対象の大まかな位置を把握した後，ユーザは取得対象が存在する方向に携帯端末を近づけてゆく．本手法を用いることにより，ユーザは家庭内のセンサネットワークがどのようなセンサノードによって構成しているかといった情報や，管理サーバのデータベースの構造を知ることなく，情報の取得を可能にする．そして，それらの動作を全てセンサネットワークが設置されている環境で行うので，物理的な位置の制約を受けることなく情報取得を可能にする．

センサノードの特定

第 3 章で述べた実空間型情報取得手法の多くは，操作が複雑であったり，情報取得対象のセンサノードを物理的に発見し，センサノードの ID を取得する必要がある．本論文で提案する携帯端末を近づける動作を用いた手法では，センサノードの特定を行う際に，複雑な操作を必要としない．また，情報取得対象のセンサノードの ID を取得する必要もない．家庭内のセンサネットワークにおける情報取得対象のセンサノードの特定を，端末を近づけるという動作を用いることで大まかな表示から詳しい表示へと段階的に切り替えて行うことで実現する．このように，複雑な操作を行わずに情報取得の特定を行うことで情報取得を可能にする．

問題の切り分け

第 3 章で述べた実空間型情報取得手法では，SQL 文を用いて取得する情報を変えることが可能である．また，AR マーカを用いた実空間型情報取得手法では読み込む対象のセンサノードを切り替えることで，表示する情報の切り替えを可能にする．本論文で提案する端末を近づける動作を用いた情報取得手法では，端末を近づける動作を用いることでユーザからの特別な入力をせずに表示する情報の切り替えを行う．また，この機能により家庭内のセンサネットワークで起こった問題を切り分けて特定することが可能になる．センサネットワークで障害が起こった場合，様々な要因が原因として考えられるのでエンドユーザがセンサネットワークで生じた問題を特定することは困難である．本手法では，操作端末を近づけるという動作を行うことで，表示する粒度を変化させセンサネットワークで起こっている問題の特定を可能にする．

4.2 Lupe における情報取得手法

本節では Lupe における情報取得手法での情報の抽象度のモデルと情報の提示ポリシーを述べる．

4.2.1 情報の抽象度のモデル

本手法では，エンドユーザが理解可能な表現で情報を抽象化する必要がある．まず，情報の表示を行う際，携帯端末で取得した映像に情報をオーバーレイすることで，取得した情報と位置情報のバインドを行う．また，本手法では情報をエンドユーザが理解しやすい形に変換して提供するために，センサネットワークの情報を文字で表現する．表示内容の妥当性は評価を取り，本論文の評価の章で詳しく述べる．

4.2.2　情報の提示ポリシー

本手法では 3 段階の表示を行うことにより，センサネットワークにおける問題の特定を可能にする．本手法では，センサネットワークに起きている問題を発見した際の表示，次いで問題が起きている箇所を詳しく特定するための対象に近づいた際の表示，さらに対象のセンサノードを特定した際に詳しい情報の表示がされる．一般的な家庭内の部屋においては，以上の 3 段階での表示が適当であると考えている．表示段階の妥当性は評価を取り，本論文の評価の章で述べる．

4.3　Lupe の動作概要

Lupe の動作概要図を図 4.8 に示す．ユーザが携帯端末をかざした位置と向きによってユーザが携帯端末をかざした位置や向きによってセンサデータリクエストを変化させる．センサネットワーク管理サーバはユーザの持つ携帯端末からリクエストがあった条件のデータを，ユーザに送信する．

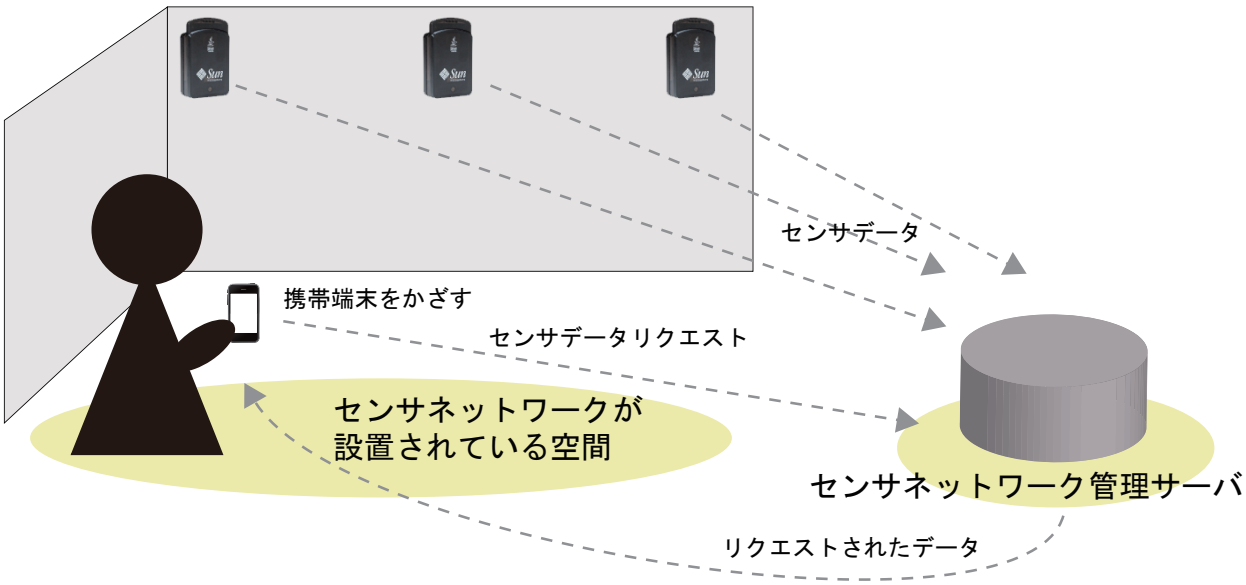

図 4.2　Lupe の動作概要図

以上の動作を実現するために Lupe では，センサノードを設置する際，設置するセンサノードを空間ないのどの位置に設置したのかをシステムは登録されている必要がある．ユーザがセンサネットワークの情報を取得するタイミングで，センサネットワークに参加しているセンサノードが自律的に各センサノードの位置関係を算出できることが理想である．しかし，本論文ではセンサネットワークの位置関係を取得することが目的ではないので，センサノードの位置登録は設置する際にユーザが行うと想定している．近づける動作によってユーザが情報を取得する対象を特定するので，Lupe では表示対象を一意になるような対象を決める必要がある．

そこで，本研究ではセンサノードを設置する際に，センサノードの ID と AR マーカをデータベースに登録する．以上のような想定環境において，ユーザはセンサネットワークの情報を取得するために，携帯端末を近づけるという動作を行う．これにより，ユーザはセンサネットワークにおいて必要な情報を取得することが可能になる．

4.4　システムの流れ

本節では，本論文で提案する実空間型情報取得手法である Lupe のシステムの利用の流れ説明する．以下に．Lupe システムでセンサネットワークの問題を発見する動作をユーザが行うステップに分けて示す．

ステップ 1

Lupe では，まず，ユーザが情報取得を行う際，取得したいセンサネットワークが設置されている空間に行く．本研究では家庭内のセンサネットワークを対象としているので，センサネットワークが設置されている部屋が対象の空間となる．図 4.2 のようにユーザはその空間でまず，携帯端末を部屋の中をぐるりとかざすように見る．この動作を行うことで，部屋内のどの辺りに問題が起きているのかが発見できる．

図 4.3　システムの利用の流れ 1

ステップ 2

かざす動作を行うことで，ユーザの持つ携帯端末にセンサネットワークに異常が起きている箇所付近に大まかな表示がされる．図の 4.3 は部屋の隅に設置されているセンサノードに問題が起きていることを表している図である．以上により，大まかな問題の発見を可能にする．

図 4.4　システムの利用の流れ 2

ステップ 3

ステップ 2 で得られた問題が起きている箇所に図 4.4 のように近づいていく．ユーザはこのとき携帯端末をかざしながら移動する．この動作により，ユーザの取得する情報を詳しいものへと変化させる．

ステップ 4

携帯端末に表示される情報がさらに細かい情報に切り替わる．図 4.5 は電源がなくなっているセンサノードが携帯端末の先にあることを示している．

ステップ 5

ユーザはステップ 3 で得られた情報を元にさらに問題のセンサノードに向かって進んでいく．ユーザは取得対象となるセンサノードを発見し，問題の原因となる情報を取得する．

図 4.5　システムの利用の流れ 3

ステップ 6

ユーザは携帯端末越しにセンサノードの問題の原因となる情報を取得する．図 4.7 の例はセンサノードの電源が残り少ないことを示している．

4.5　近づける動作における要件

Lupe では，近づける動作によって情報を取得する対象を特定するため，Lupe に最適な近づける動作を設計する必要がある．本節では，本論文で提案する実空間型情報取得手法の近づける動作における要件を整理する．

本論文で提案する携帯端末を近づける動作を用いる情報取得手法での近づける動作の要件としては，**1) 情報取得対象を特定可能であること**，**2) 近づく動作だけで，問題の発見を可能であること**，**3) 問題の特定が可能であること**が挙げられる．以下で，これら 3 つの機能要件について述べる．

情報取得対象の特定

本手法で用いる近づける動作は，情報の取得対象を特定できる必要がある．本研究において，家庭内

図 4.6　システムの利用の流れ 4

のセンサネットワークの情報を取得するのはセンサネットワークやデータベースに関する知識のないエンドユーザである．そのため，センサネットワークにおいて問題が生じた場合，エンドユーザがセンサネットワークにおいて起きている問題を特定する必要がある．そこで，近づける動作を行う前段階として携帯端末を空間でかざすことで，センサネットワークにおいて起きている問題の箇所を大まかに発見することが可能になる．

近づく動作による問題の発見

本研究で提案する近づける動作では，表示する情報を情報取得対象と携帯端末との距離に応じて変化させるので，ユーザが近づくことにより携帯端末に表示される情報も変化する．またこの近づく動作による情報の表示の切り替えを行うことで，エンドユーザが特別な操作をすることなく取得する情報の粒度を変化させることが可能になる．上記のシステムの概念図で示したが，本手法ではユーザの持つ携帯端末と取得対象であるセンサノード間の距離に応じた情報の表示を行う．以上の動作を行うことにより，エンドユーザでも最終的には問題の起きているセンサノードを一意に特定可能になる．

問題の特定

本手法で用いる近づける動作により，エンドユーザは問題の起きているセンサノードを特定可能であることを述べた．実際にセンサネットワークにおいて起きている問題を解決するためには特定のセンサノードで起きている問題をエンドユーザが知る必要がある．そこで，本手法ではセンサネットワークにおいて問題の起きているセンサノードを一意に特定した場合，そのセンサノードに関する情報を詳細に

図 4.7　システムの利用の流れ 5

表示する．携帯端末を近づける動作を行う上で，上記の機能によりエンドユーザは携帯端末を近づけるという動作を行うだけで，センサネットワークにおいて起こっている問題の発見と問題の原因を取得することが可能になる．

4.6　まとめ

本章では，端末を近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe について説明を行った．はじめに，Lupe のアプローチを前章で述べた機能要件に沿って説明した．ついで，Lupe のシステムの流れについて説明を行った．その後，Lupe で用いる近づける動作の要件について整理した．次章では，本章で提案した端末を近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe の設計を述べる．

図 4.8　システムの利用の流れ 6

第 5 章

Lupe の設計

本章では，端末を近づける動作を用いた情報アクセス手法である Lupe を設計する．はじめに，Lupe におけるセンサノードの設置場所や屋内におけるユーザ位置情報の取得について述べる．ついで，近づける動作の設計を行い，近づける動作に対するフィードバックの設計，Lupe システムのデータベースの設計を行う．その後，用者側，管理者側アプリケーションによって実現される Lupe のシステム概要を説明する．最後に，利用者側，管理者側アプリケーションの設計をソフトウェア・ハードウェアの双方について述べる．

5.1　センサノードの設置

Lupe を実現するためにはセンサノードの位置情報と，設置するセンサノードの特定を一意に行う必要がある．本研究ではセンサノードを設置した後のセンサネットワークの管理を主眼においているので，以下の情報の登録はセンサネットワークの管理者が行う．

5.1.1　位置情報

Lupe では，情報の表示を行うために，情報の取得対象となるセンサノードの位置情報をシステムが知る必要がある．将来的には位置の登録を人が行わなくとも，センサノード間による電波強度を用いた位置計測やスマートハウスなどの研究の一部としてセンサノードの位置関係は自動的に登録されることが予想される．以上のことより，本研究ではセンサノードの位置情報の登録をユーザが登録作業をすることなく登録が完了するようになると考える．本実装では予めセンサノードの位置情報はセンサ管理サーバに登録されている想定である．

5.1.2　AR マーカとの対応付け

Lupe で情報を表示する際にセンサノードを一意に特定する為に，今回用いるセンサノードに図 5.1 のように AR マーカとよばれるマーカが印刷された紙を貼る．センサネットワークの管理者はセンサノードの ID と AR マーカの関連付けを行いセンサ管理サーバに登録する．以下の例の場合，センサノードの ID が”0000.65B1”でマーカ ID が”1”の様にセンサ管理サーバに登録される．

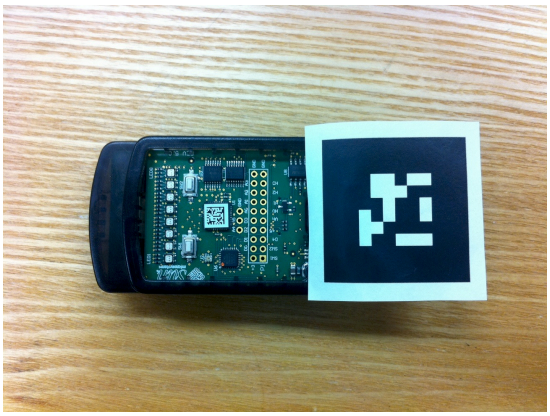

図 5.1　AR マーカをセンサノードに取り付けたイメージ

5.2　近づける動作の設計

Lupe では，近づける動作によって情報の取得対象を特定するため，Lupe に最適な近づける動作を設計する必要がある．本節では，第 4.3 節で整理した近づける動作における要件をもとに最適な，端末を近づける動作の設計を行う．

5.2.1　近づける動作

第 4.3 節で述べた機能要件を満たす端末を近づける動作として，ユーザの持つ携帯端末を情報の取得対象であるセンサノードに近づけるという動作を行う．ユーザの持つ携帯端末とセンサノード間の距離の変化に応じて，表示する情報を変化させる．図 5.3 に近づける動作による携帯端末の画面遷移イメージを示す．以下で本節で提案した近づける動作が第 4.3 節で述べた機能要件を満たすことを示す．

図 5.2　近づける動作のイメージ

情報取得対象の特定

本手法では，ユーザの持つ携帯端末と情報取得対象となるセンサノード間の距離に応じて，携帯端末に表示される情報を変化させる．図 5.3 で示したように対象となるセンサノードまでの距離が離れている場合は表示される内容も大まかなものとなる．そして，徐々にセンサノードへユーザが近づいて行くと表示される情報もより詳細なものへ変化する．最終的にはセンサノードに貼られた AR マーカを認識できる距離まで近づいた場合，対象のセンサノードに関する詳しい情報が取得可能になる．以上の理由からユーザは携帯端末の画面を見ながら移動するだけで，情報取得対象の特定を行うことが可能になる．

近づく動作による問題の発見

本手法を用いることにより，ユーザは大まかな問題の発見を行い，上記で述べた近づく動作を行うことにより詳細な問題の状況を取得することが可能である．ユーザとセンサノード間の距離によって表示する内容を変化させるので，ユーザは特別な操作をすることなく，センサネットワークで起きている問題を切り分けて特定することが可能になる．本論文ではユーザの部屋内での位置情報取得における精度の制限により，表示の切り替えの段階を 3 段階と想定している．表示する段階の妥当性については評価の章で述べる．

問題の特定

本論文で提案した手法ではあらかじめセンサノードに AR マーカを貼ってある想定なので，近づく動作を行うことで最終的に情報取得対象のセンサノードを一意に特定することが可能である．センサネットワークにおいて，起こりうる問題の原因は多岐にわたることを前述し，それらの問題の原因を特定す

ることの難しさを述べた．．本手法では近づく動作により一意に特定したセンサノードに関する情報をエンドユーザがわかる形として，画面内に情報を描画する．

5.3　情報表示の設計

本論文で提案する携帯端末を近づける動作を用いた情報取得手法である Lupe は，携帯端末を近づけるという動作をすることで家庭内のセンサネットワークの情報を取得する．また本論文で提案する携帯端末を近づける実空間型情報取得手法の機能要件としてユーザが特別な操作をすることなく表示する情報の粒度を変更する必要があることを述べた．本節では，Lupe の機能である携帯端末と情報の取得対象との距離に応じた情報の表示きりかえ機能について述べる．前節で述べたように Lupe で用いる実空間型情報取得手法では情報取得対象に近づくことでより詳細な情報を表示する．

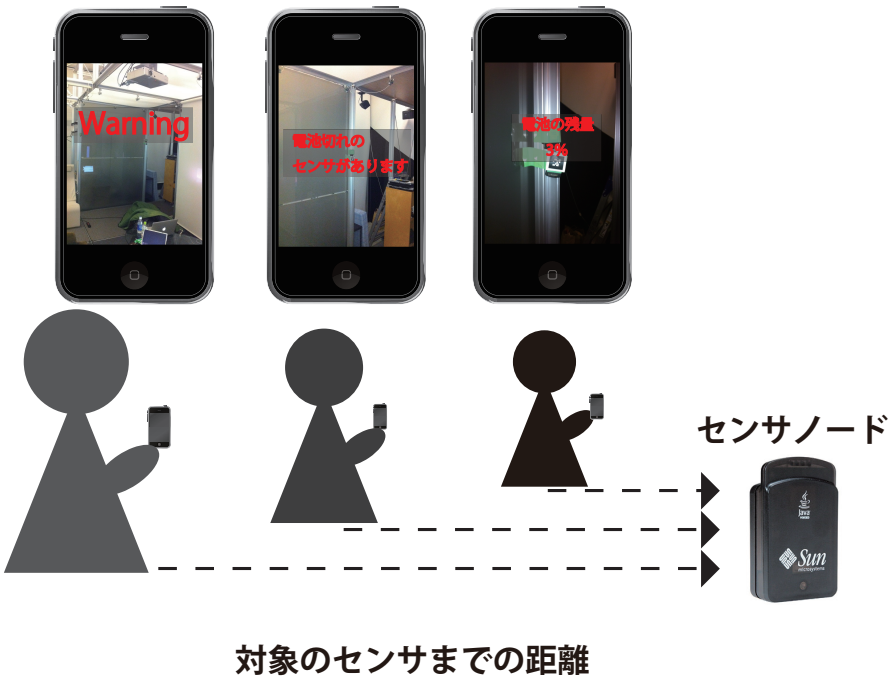

図 5.3　近づける動作による画面遷イメージ

5.3.1　情報の表示段階

本手法では屋内で取得可能な手法として考えられるレーザーレンジファインダーを用いた位置情報取得手法を用いることを前節で述べた．また，本研究で想定する環境において，取得対象であるセンサノードの位置情報はあらかじめ登録されており，ユーザの持つ携帯端末に搭載されている電子コンパスを用いて携帯端末の向きを取得できることも述べた．以下に，Lupe における情報の表示段階を三段階に分けて述べる．

大まかな情報の表示

ユーザは家庭内のセンサネットワークが設置されている環境において，携帯端末をかざすことでセンサネットワークの状況を取得する．ユーザの持つ携帯端末と情報取得対象のセンサノードの距離が離れている場合，大まかな表示を行う．この表示を行うことにより，センサネットワークにおいて問題が起こった場合，ユーザに問題が起こっていることを知らせることが可能になる..

詳細な情報の表示

Lupe では携帯端末を近づける動作を行うことで表示する情報の切り替えを自動的に行う．大まかな表示によりセンサネットワークに問題が起きていることを認識した後，ユーザはその方向に近づいて行く．本手法ではユーザの持つ携帯端末と情報取得対象のセンサノード間の距離が大まかな表示を行う場合よりも近い場合に詳細な情報の表示を行う．この表示を行うことにより，ユーザはセンサネットワークに起こっている問題の詳細な情報を得ることが可能になる．

取得対象のセンサノードに関する情報の表示

本研究では各センサノードに一意となる AR マーカが予め貼られている想定である．ユーザは大まかな表示と詳細な情報の表示を行いながら，携帯端末を近づける動作を行うことで情報取得対象となるセンサノードを探す．そして，AR マーカが認識できる程，携帯端末とセンサノードが近づいた時に，取得対象のセンサノードに関する情報の表示を行う．その際，表示する情報としては電池の残量や送信しているデータの種類といったセンサノード固有の情報を表示する．この表示を行うことにより，ユーザは特定のセンサノードの情報を取得することが可能になる．

5.4 Lupe のシステム概要

本節では，Lupe のシステム構成について説明を行う．
Lupe システムは大きく分けて環境側のアプリケーションとユーザ側のアプリケーションの二つに分けられる．

第 3.2 節で述べたように，Lupe によって情報取得を行うには，あらかじめ家庭内ネットワークの管理者が設置するセンサノードに固有の AR マーカを貼り，センサノード管理サーバに設置する位置情報と共に登録する必要がある．また，本手法を実現するために，レーザーレンジファインダーを用いた位置情報取得手法を用いるためセンサノードを設置する環境に位置情報取得システムを構築する必要がある．このため，Lupe で提案する情報取得手法を実現するために，環境側に設置するアプリケーションを構築する必要がある．

また，ユーザの持つ携帯端末で情報の表示を Lupe では行うので，ユーザ側のアプリケーションを構築する必要がある．ユーザ側のアプリケーションは，環境側のアプリケーションで得られた情報を元にした情報の表示を行う．

5.5 環境側アプリケーションの設計概要

本節では，Lupe における環境側アプリケーションの構成をソフトウェア，ハードウェア双方について述べる．ソフトウェア構成では，Lupe を構成するモジュール群を挙げ，各モジュール群の機能を述べる．ハードウェア構成では，Lupe で利用する機器を挙げ，各機器の機能を述べる．

5.5.1 ソフトウェア構成

Lupe における環境側アプリケーションは，大きく分けてセンサ情報管理層，センサデータ提供層，ユーザ位置情報取得層から構成される．これらは複数のモジュールとソフトウェアコンポーネントから構成される．図 5.1 に Lupe における環境側アプリケーションのソフトウェア構成図を示す．また，以下にそれぞれの層の概要を述べる．

センサ情報管理層

センサ情報管理層は，環境に設置されたセンサノードに関する情報を管理する．センサ情報管理層は，センサノード管理モジュール，センサデータ管理モジュールが含まれる．センサノード管理モジュールでは，センサノードの位置情報や，センサノードに貼られた AR コードとセンサノードの ID とのバインド情報を管理する．また，センサデータ管理モジュールではセンサネットワークから得られるセンサデータをデータベースに保存する．

センサデータ提供層

センサデータ提供層は，センサ管理サーバ内のデータベースに保存された情報を，ユーザ側のアプリケーションに送信する．センサデータ提供層には，データ取得要求管理モジュール，情報提供モジュールとデータベース接続モジュールが含まれる．データ取得要求管理モジュールでは，ユーザ側のアプリケーションより，リクエストのあった条件でのデータ取得を扱う．

ユーザ位置情報取得層

ユーザ位置情報取得層は，Lupe システムを利用しているユーザの屋内における位置情報を取得する．ユーザ位置情報取得層には，距離データ取得モジュールと位置情報管理モジュールが含まれる．距離データ取得モジュールでは，予め環境に設置された 4 台のレーザーレンジファインダーより距離データを取得する．位置情報管理モジュールでは，距離データ取得モジュールより得られたデータを用いてユーザの屋内における位置情報を算出する．

5.5.2 ハードウェア構成

Lupe における環境側アプリケーションに必要なデバイスは大きく分けて，2 つである．まず，センサノードに関する情報や，センサデータを保存するセンサデータ管理サーバがある．また本論文では，センサデータ管理サーバ上で，ユーザ位置情報取得層のモジュールを起動する．そして，本論文におけるユーザの屋内位置情報取得に必要なレーザーレンジファインダーを部屋の 4 隅に設置する．レーザーレンジファインダーは照射対象までの距離を取得可能なデバイスである．図 5.2 に Lupe における環境側アプリケーションのハードウェア構成を示す．

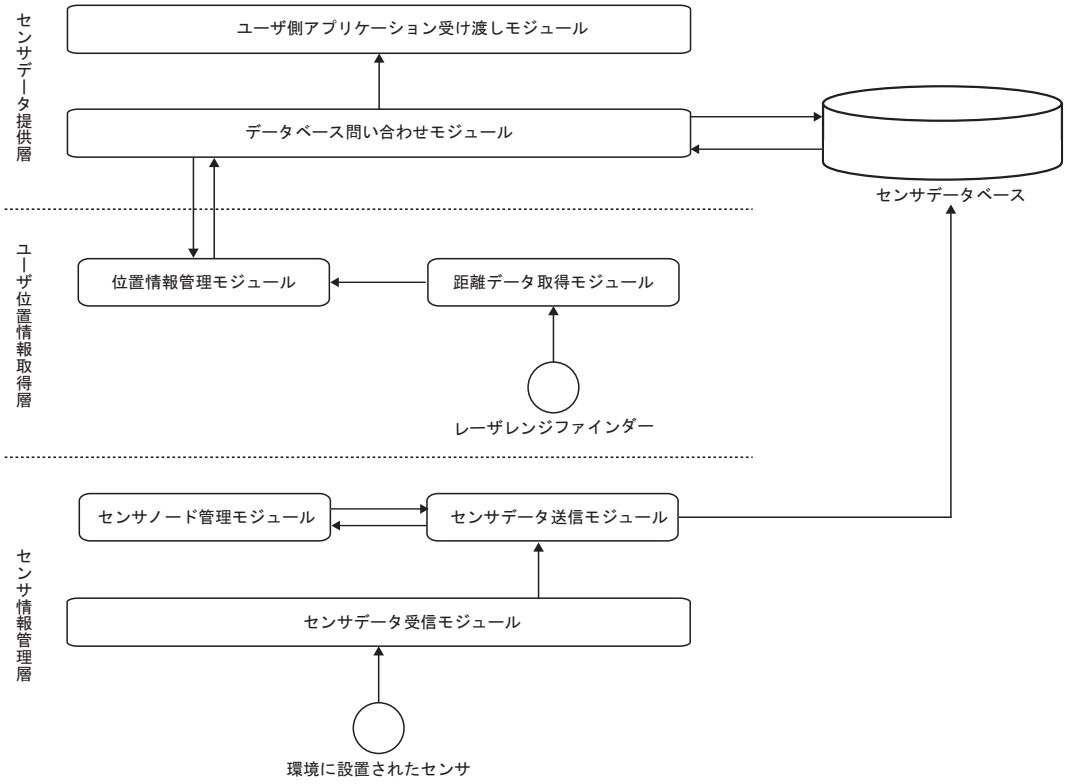

図 5.4　環境側アプリケーションのソフトウェア構成図

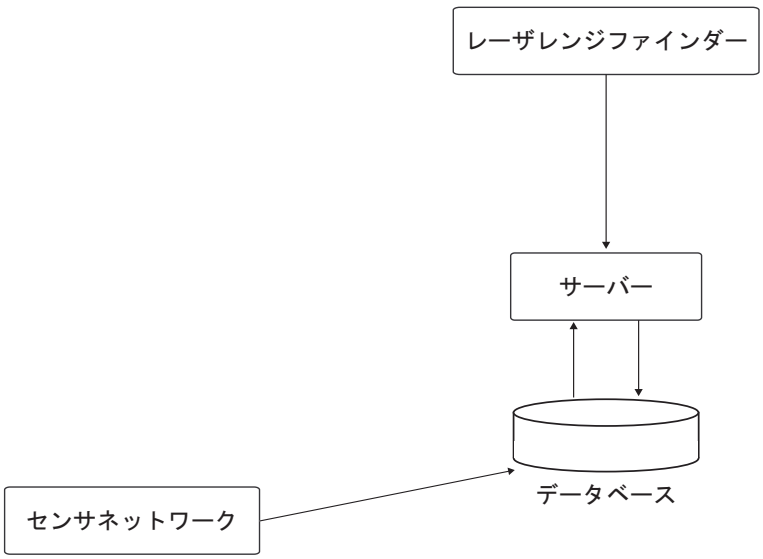

図 5.5　環境側アプリケーションのハードウェア構成図

5.6 Lupe におけるユーザ側アプリケーションの設計概要

本節では，Lupe におけるユーザ側アプリケーションのソフトウェア構成について述べる．ソフトウェア構成では，Lupe を構成するモジュール群を挙げ，各モジュール群の機能を述べる．ユーザ側アプリケーションは，利用の操作のしやすさを目標として設計を行った．

5.6.1 ソフトウェア構成

Lupe におけるユーザ側アプリケーションは，大きく分けてインタフェース層と情報取得層で構成される．これらは複数のモジュールとソフトウェアコンポーネントから構成される．図 5.3 に Lupe におけるユーザ側アプリケーションのソフトウェア構成図を示す．また以下にそれぞれの層の概要を述べる．

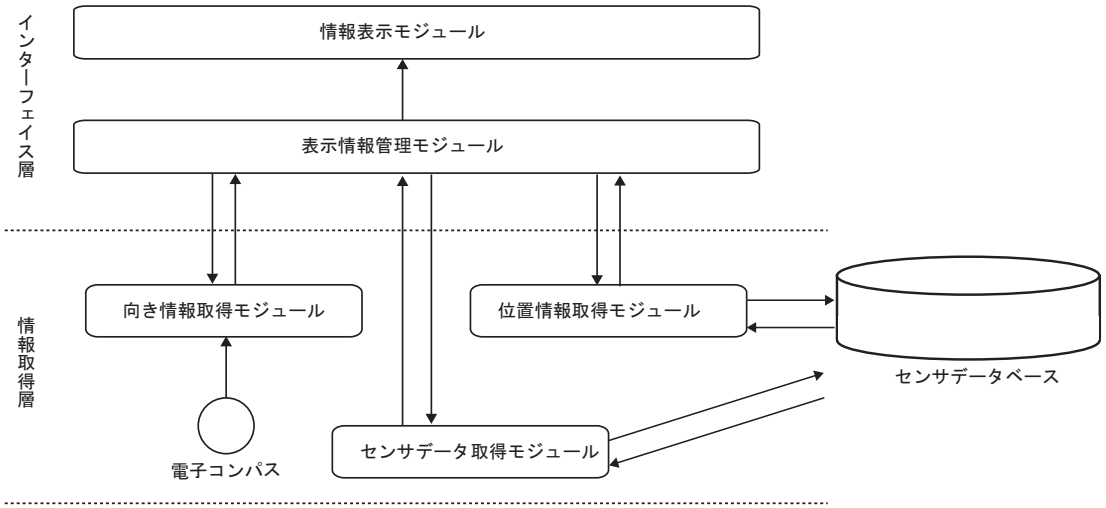

図 5.6　ユーザ側アプリケーションのソフトウェア構成図

インタフェース層

インタフェース層は，ユーザの近づく動作に応じた情報の表示を行う．インターフェイス層は，ユーザ位置情報取得モジュール，ユーザ向き情報取得モジュール，情報表示モジュールから構成される．ユーザ位置情報取得モジュールは環境に設置されたセンサ管理サーバから，携帯端末を持つユーザの屋内における位置情報を取得する．ユーザ向き情報取得モジュールは，携帯端末に内蔵された電子コンパスを用いてユーザの持つ携帯端末の向きを取得する．インターフェイス層で得られたユーザの持つ携帯端末の情報を情報取得層に与え，センサデータを取得する．取得された情報を情報表示モジュールにおいて，表示する．情報表示モジュールはユーザの位置情報と向き情報に応じた情報の表示や，表示する情報の切り替えも自動的に行う．

情報取得層

情報取得層は主に，インターフェイスより要求があった際に指定された条件のセンサデータをセンサ

管理サーバより取得する，センサ情報取得モジュールより成る．情報を取得する際にはセンサ情報取得モジュールに対して携帯端末の向きや位置といったユーザの情報を与えることにより必要な情報を取得する．

5.6.2 ハードウェア構成

Lupe におけるユーザ側アプリケーションに必要なデバイスは携帯端末のみである．本論文で想定している携帯端末には電子コンパスが内蔵されている．携帯端末に内蔵されている電子コンパスを用いることにより，携帯端末を持つユーザの向いている向きが取得可能になる．図 5.4 に Lupe におけるユーザ側アプリケーションのハードウェア構成を示す．

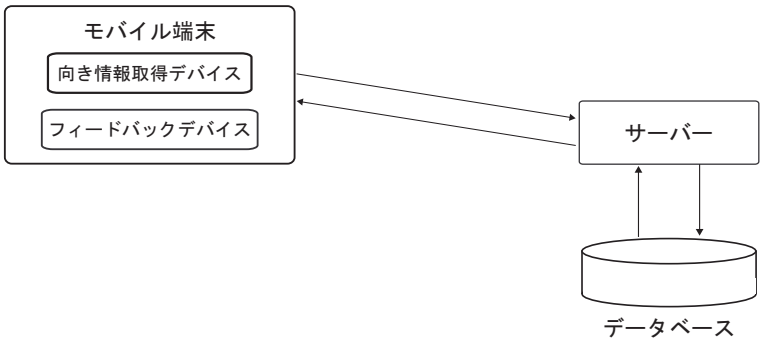

図 5.7　ユーザ側アプリケーションのハードウェア構成図

5.7 まとめ

本章では，第 4 章で提案した実空間型情報取得手法である Lupe の設計を行った．はじめに，Lupe における近づける動作の設計，Lupe のデータベース設計などを行った．ついで，Lupe のシステムにおける環境側，ユーザ側アプリケーション双方のソフトウェア，ハードウェア構成について述べた．次章では，Lupe プロトタイプの実装に関しての説明を行う．

第 6 章

Lupe の実装

本章では，近づく動作を用いた実空間型情報取得手法である Lupe のプロトタイプ実装について述べる．まず環境側アプリケーションにおけるハードウェア，ソフトウェア双方についての実装を述べる．最後に，ユーザ側アプリケーションにおけるソフトウェア実装について述べる．

6.1　環境側アプリケーション

本節では，Lupe における環境側アプリケーションの実装について述べる．まず，Lupe の環境側アプリケーションに用いるハードウェアについて述べる．ついで，Lupe の環境側アプリケーションのソフトウェアについて述べる．

6.1.1　ハードウェア

Lupe の環境側アプリケーションで用いるハードウェアについて，機器別に述べる．

レーザーレンジファインダー

ユーザの位置情報を取得するためにスキャナ式レンジセンサである，HOKUYO の URG-04LX-UG01 [10] を用いる．URG-04LX-UG01 は 240 度の角度において約 5m までの距離情報を取得可能なセンサである．Lupe では URG-04LX-UG01 を部屋の四隅に設置し，ユーザの位置情報を算出する．

図 6.1　URG-04LX-UG01

SunSpot

本研究では，環境に設置されるセンサノードとして Oracle 社の SunSpot [?] を用いた．温度センサ，照度センサそして加速度センサが内蔵されており，外部入力ピンに他のセンサを取り付けることも可能である．また SunSpot は無線通信機能を備えており，各センサで取得したデータを複数のノード間でマルチホップしながら収集することが可能である．本研究では一つのセンサノードが複数のアプリケーションに対してデータの提供を行うことを想定しているので，SunSpot を用いた．

6.1.2　ソフトウェアの実装

センサ情報管理層

-センサノード管理モジュール

センサノード管理モジュールでは，環境に設置されたセンサノードの場所と ID を関連づけて管理して

図 6.2　SunSpot

いる．センサノードに関する情報は予め登録されていることを想定している．また，センサノードの ID とセンサノードに貼られる AR マーカの解決を行う．

-センサデータ受信モジュール

環境に設置されたセンサネットワークからセンサデータを取得する．
得られたセンサデータをセンサデータ送信モジュールに渡す．

-センサデータ送信モジュール

センサデータ受信モジュールより得られたセンサデータをセンサデータベースに登録する．Lupe では 10 分毎にセンサデータをまとめてセンサデータベースに登録している．

センサデータ提供層

-データ取得要求管理モジュール

ユーザ側アプリケーションより要求のあったタイミングでセンサデータを取得する．

-データベース接続モジュール

データ取得要求管理モジュールより要求のあったクエリを生成しセンサデータベースサーバに問い合わせる．

-情報提供モジュール

データベース接続モジュールより得られたデータをユーザ側アプリケーションに対して送信を行う．

ユーザ位置情報取得層

-位置情報管理モジュール

本研究では 3 段階の表示を行うので，部屋を 9 分割した精度で位置を取得できれば十分である．そこで，以下のように部屋を分割し，レーザーレンジファインダーを部屋の四隅に設置する．本システムではレーザーレンジファインダーより得られる距離データの増減からユーザが 1〜9 のどの位置にいるかを判別する．

-距離データ取得モジュール

環境に設置されたレーザーレンジファインダーより距離データが常に取得している．今回用いた，URG-04LX-UG01 では 240 度の視野角を 726 個に区切って取得している．以下にレーザーレンジファインダーより得られる距離データの例を示す．本システムでは 90 度の視野角を得れば十分なので，得

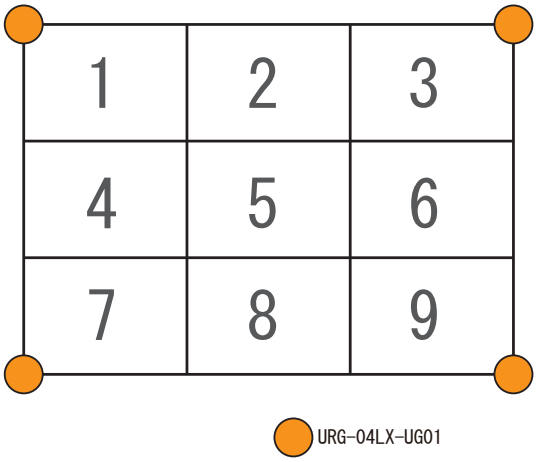

図 6.3　URG-04LX-UG01 の配置

られたデータから 90 度にトリミングして利用している．

0 -1, 1 -1, 2 -1, 3 -1, 4 -1, 5 -1, 6 -1, 7 -1, 8 -1, 9 -1, 10 -1, 11 -1, 12 -1, 13 -1, 14 -1, 15 -1, 16 -1, 17 -1, 18 -1, 19 -1, 20 -1, 21 -1, 22 -1, 23 -1, 24 -1, 25 -1, 26 -1, 27 -1, 28 -1, 29 -1, 30 -1, 31 -1, 32 -1, 33 -1, 34 -1, 35 -1, 36 -1, 37 -1, 38 -1, 39 -1, 40 -1, 41 -1, 42 -1, 43 -1, 44 540, 45 540, 46 537, 47 537, 48 521, 49 516, 50 510, 51 508, 52 508, 53 508, 54 510, 55 510, 56 510, 57 504, 58 500, 59 495, 60 495, 61 495, 62 508, 63 508, 64 514, 65 514, 66 514, 67 510, 68 512, 69 512, 70 512, 71 522, 72 527, 73 529, 74 529, 75 529, 76 2613, 77 2615, 78 2615, 79 2613,

～中略～

671 468, 672 467, 673 467, 674 467, 675 467, 676 467, 677 467, 678 467, 679 470, 680 470, 681 471, 682 476, 683 476, 684 476, 685 476, 686 476, 687 476, 688 411, 689 410, 690 407, 691 407, 692 407, 693 0, 694 0, 695 0, 696 0, 697 440, 698 436, 699 432, 700 432, 701 432, 702 429, 703 421, 704 421, 705 417, 706 417, 707 425, 708 425, 709 425, 710 428, 711 434, 712 434, 713 434, 714 434, 715 435, 716 441, 717 441, 718 456, 719 457, 720 460, 721 474, 722 477, 723 482, 724 495, 725 499,

6.2　ユーザ側アプリケーション

本節では，Lupe におけるユーザ側アプリケーションの実装について述べる．まず，Lupe のユーザ側アプリケーションに用いるハードウェアについて述べる．ついで，Lupe のユーザ側アプリケーションのソフトウェアについて述べる．

6.2.1 ハードウェア

Lupe の利用者側アプリケーションでは，ユーザの操作端末として Apple の iPhone4 [?] 以下，iPhone を用いる．iPhone は，向き情報取得デバイスとして，電子コンパスを内蔵しているまた，カメラデバイスとディスプレイを備えているので，本研究でユーザが操作する携帯端末として適している．以下に Lupe のユーザ側アプリケーションで利用する iPhone を示す．

図 6.4　iPhone 4

6.2.2 ソフトウェア

6.2.3 ソフトウェアの実装

情報取得層

-向き情報取得モジュール

向き情報取得モジュールでは，iPhone に搭載されている電子コンパスを利用する．電子コンパスより得られた向き情報をユーザの持つ携帯端末の向いている方向として利用する．得られた向き情報を，インターフェイス層の表示情報管理モジュールの問い合わせが来たらデータを送る．

-位置情報取得モジュールモジュール

位置情報取得モジュールでは，環境側のソフトウェアで得られる屋内におけるユーザの位置を取得する．Lupe では，屋内を 9 分割に分けた番号が距離情報として得られる．得られた位置情報は，インターフェイス層の表示情報管理モジュールの問い合わせが来たらデータを送る．

-センサデータ取得モジュール

センサデータ取得モジュールでは，センサデータベースに蓄積されているセンサデータを取得する．その際，インターフェイス層の表示情報管理モジュールからの要求をクエリとした SQL 文を発行しデータベースより情報を取得する．

インターフェイス層

-表示情報管理モジュール

表示情報管理モジュールは，ユーザの持つ携帯端末に表示する情報を管理するモジュールである．向

き情報取得モジュールと位置情報取得モジュールに対して一秒毎にデータのリクエストを行う．各モジュールから得られたデータを元に携帯端末に表示する情報を決定する．更に，センサデータ取得モジュールに対して，表示する内容の条件を送りデータを取得する．以上により，表示する際に必要なデータが得られ，情報表示モジュールに表示内容を送る．

-情報表示モジュール

情報表示モジュールでは，表示情報管理モジュールから得られる情報を元に情報の表示を行う．携帯端末から得られる映像に情報をオーバーレイすることで情報の提供を行う．

6.3 まとめ

本章では，前章で述べた Lupe の設計をもとに Lupe のプロトタイプを実装し，実装の詳細を説明した．ついで，環境側アプリケーションにおけるハードウェア，ソフトウェア双方についての実装を述べた．その後，ユーザ側アプリケーションにおけるソフトウェア実装について述べた．次章では，本章で実装した実空間発見型情報アクセス手法である Lupe の評価実験を行い有用性を検証する．

第 7 章

評価

本章では，端末を近づける動作を用いた実空間型情報取得手法である Lupe を評価する．本手法の評価を行うために，複数の被験者による評価実験を実施した．本章では，各評価実験の概要を説明し，実験の結果を示す．最後に，実験から得られた結果をもとに Lupe について考察を行う．

7.1　評価実験の概要

本節では，Lupe 実際に利用者に利用してもらい，Lupe に対する評価を得る実験についてのを説明を行う．はじめに，実験環境や被験者，実験手順，アンケート項目について述べる．ついで，実験結果を示し，本評価実験における考察を述べる．

7.1.1　実験環境

本実験は，τ 41 の徳田研究室の実験スペース [12] で行った．τ 41 はユビキタス空間を実現するためのスペースである．実験場所ではτ 41 にセンサノードを 30 個設置した．設置するセンサノードは SunSpot を用いた．SunSpot は照度，温度，加速度が取得できるセンサノードである．設置された SunSpot には予め AR マーカが貼られ，位置情報がセンサ管理サーバに登録されている．設置されたセンサノードから得られるデータを元に様々なシステムを設置可能である．

図 7.1　τ 41 実験スペース

7.1.2　屋内におけるユーザ位置情報の取得

本手法を実現するためにはユーザの屋内における位置情報を取得する必要がある．既存の位置情報取得手法として GPS や WiFi の電波強度を用いた手法が挙げられる．しかし，GPS を用いた位置情報取得手法では屋内に置ける位置の認識率に問題があるので本研究の想定している家庭での利用には不適である．また，WiFi の電波強度を用いた手法も位置情報を取得する際の手段として考えられるが，やはり，精度の問題で研究には不適である．以下にそれぞれの手法を用いた際の位置情報取得精度の実験結果を表 5.1 に示す．測定はτ 41 で行い，各手法を 10 回行い位置情報を取得した．結果をみると，屋内環境において，実際の位置情報取得位置とかなりの誤差が生じるといえる．

本手法を実現するためには部屋のどの位置にユーザがいるかという粒度で位置情報が必要なので，既存の屋内位置情報取得手法では困難である．そのため，本研究では高精度な位置情報サービスが提供される環境の実現を想定し，ユーザの位置情報を取得するために以下の手法を用いる．今回，本研究ではレーザーレンジファ

表 7.1　既存の位置情報取得手法の精度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均誤差 (m)
GPS	12	21	15	16	13	14	18	22	15	14	16
WiFi の電波強度を用いた手法	23	24	19	29	18	25	22	29	19	24	23.2

インダーと呼ばれる赤外線レーザーを発振して，目標物との距離を取得するデバイスを環境に設置する．レーザーレンジファインダーから得られる距離情報からユーザが部屋内のどの位置にいるかを算出する．

7.1.3　被験者

表 7.1 に本実験における被験者の性別分布を示す．本実験の被験者は男性 10 人，女性 2 人，合計 12 人である．男性の被験者が女性の被験者に比べ多かった．大学の知人を中心に実験を行ってもらったので 10 代，20 代のみの分布となった．

表 7.2　実験 1:被験者の性別分布

被験者の性別	被験者数 (人)
男性	10
女性	2
合計	13

表 7.3　実験 1:被験者の年代分布

被験者の年代	被験者数 (人)
10 代	1
20 代	12
合計	13

7.1.4　実験手順

本評価実験では，部屋内に環境光が暗くなったら電灯がつく電灯管理システムが設置されている想定で以下の実験を行ってもらった．被験者には電灯管理システムが正しく動作していない原因を特定するという実験を行ってもらった．既存の手法である仮想空間型情報取得手法を用いたアプリケーションと本論文で提案している，Lupe を用いた場合で行ってもらい比較した．最後に評価アンケートに記入してもらった．図 7.2 に実際に用いた評価用紙を示す．

以下に実験手順を示す．

1. 仮想空間型情報取得手法を用いたアプリケーションを用いて問題が起きているセンサノードを特定させる

2. その際要した時間を計測する
3. Lupe の利用方法を説明する
4. Lupe を用いて問題が起きているセンサノードを特定させる
5. 発見までに要した時間を計測する
6. アンケートに記入させる

7.1.5 アンケート項目

図 7.2 に示した評価用紙に記載した各設問の意図を以下に述べる．

設問 1　AR を用いた情報提供はわかりやすかった
設問 2　情報の表示段階は三段階で十分だと思った
設問 3　システムを操作する際に負担を感じた
設問 4　日常的なセンサ管理を行う際に有用だと思った
設問 5　対象が多数存在する場合有用だと思った
設問 6　異常の起こっているセンサを特定することが容易だった

設問 1 は，情報の提供方法として本研究では AR を持ちいているが有用かを問う．設問 2 は，情報の表示段階が三段階で十分であったかを問う．設問 3 は，Lupe を使用する際に負担にならないかを問う．設問 4 は，Lupe は日常的に使うことを想定しているので，日常的な使用に耐えうるか問う．設問 5 は，本実験では 30 個のセンサノードしか集めることが出来なかったが，更に多数存在する環境を本研究では想定しているので問う．設問 6 は，既存の手法と比べて Lupe が容易に操作可能かを問う．設問 1〜6 は，10 段階評価での選択式である．

7.1.6 評価結果

以下に評価実験における評価結果を表 7.3〜7.7 に示す．1 に近い数値ほど全くそう思わない，10 に近い数値ほどその通りだと思うという回答である．

表 7.4　設問 1「AR を用いた情報提供はわかりやすかった」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	0	0	0	0	1	1	3	4	1	3	7.69

表 7.5　設問 2「情報の表示段階は三段階で十分だと思った」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	0	0	1	2	1	1	2	2	1	3	7.00

Lupe システム評価アンケート

性別　男・女　（　）歳

以下のシステムに関する質問についてそう思ったかどうかを 10 段階で答え，概要の数字に〇をつけてください.

1= 全くそう思わない　10= その通りだと思う

●Lupe について

AR を用いた情報提供はわかりやすかった

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

情報の表示段階は三段階で十分だと思った

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

システムを操作する際に負担を感じた

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

日常的なセンサ管理を行う際に有用だと思った

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

●既存の手法との比較して

対象が多数存在する場合有用だと思った

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

異常の起こっているセンサを特定することが容易だった

1 － 2 － 3 － 4 － 5 － 6 － 7 － 8 － 9 － 10

感想を自由にご記入ください

ご協力ありがとうございました

図 7.2　Lupe の評価に用いた評価用紙

表 7.6　設問 3「システムを操作する際に負担を感じた」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	3	2	1	0	1	1	2	3	0	0	4.53

表 7.7　設問 4「日常的なセンサ管理を行う際に有用だと思った」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	0	0	0	0	0	2	3	1	4	3	8.23

表 7.8　設問 5「対象が多数存在する場合有用だと思った」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	0	0	0	0	0	0	2	6	2	3	8.46

表 7.9　設問 6「異常の起こっているセンサを特定することが容易だった」の回答結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
回答者数 (人)	0	0	1	1	3	0	3	1	3	1	6.92

7.1.7　アンケートで得られた感想

- コンパスの精度がもっと良ければよかった
- 携帯端末のカメラを通して情報を取得することが当たり前になれば説得力があると思う
- センサノードが多数存在する環境においてはとても有用だと思った
- コンパスの精度がもっと良ければ，表示を二段階にしても十分でないか
- 一意に特定した際に表示する内容がもっと詳しい方がいい
- プログラムの処理速度の問題で表示がおいついていない場面があった
- 一カ所にたくさんセンサが設置されている時に管理するのが楽になりそう
- 表示段階をユーザの理解度によって変更できたらいいと思った
- 携帯端末をずっともっていないといけないので，手が疲れた
- マーカを使う以上見えないところに設置されたセンサノードの描画はどうするのか
- 近づいたら情報が切り替わる手法はセンサネットワークに限らず他のシナリオでも有効だと思った．

7.1.8　異常の起きているセンサノードの特定に要した時間

表 7.9 にユーザが部屋に入ってから異常のあるセンサノードを特定するまでに要した時間を示す．既存のシステムとは管理画面内にセンサネットワークの情報が表示される仮想空間型情報取得手法を持ちたシステムである．

表 7.10　異常の起きているセンサノードの特定に要した時間

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	平均
既存のシステム (秒)	28	34	32	35	28	30	32	31	45	38	30	33	35	33.15
Lupe(秒)	45	42	45	40	43	42	47	44	50	46	45	44	43	44.30

7.2　考察

設問 1 の結果として，ユーザに AR を用いて情報を提供することは有用であると言える．感想で得られた中にカメラを通して情報を取得するという動作が一般的になればより説得力があると思うというものがあったが，近年の AR 技術の普及を考えたときに近い将来においては AR を用いる取得取得手法はより一般的になると考えられる．距離に応じて情報が切り替わるのが楽しいという意見もあったので，AR を用いて現実空間にオーバーレイした描画を行うことは情報を理解するという点においても有用であると言える．設問 2 の結果として，情報を 3 段階での情報表示について問うたがスコアを見る限り 3 段階で十分であると言える．しかし，感想をみると二段階で十分でないかという意見がいくつか見られたので検討する必要がある．また，本論文で提案した実空間型情報取得手法である Lupe はエンドユーザが日常的に使用することを想定としている．設問 3 では Lupe の操作負荷について問うたが，おおむね負荷は少ないと言える．しかし情報を取得する間，ユーザは携帯端末をかざすという動作を行わないといけないので，手が疲れるという意見が感想にあった．設問 4 において，Lupe を日常的に利用する際に有用かを問うた．本システムで対象となるエンドユーザが日常的に利用することを想定していうるので，今回の結果は Lupe が日常的に利用することの有用性を示せたと言える．設問 5 において，情報の取得対象が多数存在する場合において問うた．本実験は対象となるセンサノードが 30 個と決して多くはない環境で行った背景があるので，この設問では多数あると考えたときに有用かを問うた．自動的に表示される情報を切り替えることが可能なので，多数存在する環境においては有用だという感想を得た．また，この設問は画面上で情報を取得する評価用のアプリケーションと比較するために行った．設問 6 において，異常の起きているセンサノードを特定することが容易であったか問うた．既存の手法を用いたシステムと比較してもらったが，あまり良い結果が得られたとは言えない．設問 5 で得られたようにより対象となるセンサノードの数が多い場合においてはさらにスコアが高くなると予想できる．

また，既存の手法を用いたシステムと，Lupe を用いた場合のいずれもユーザが問題のあるセンサノードを発見するまでに要した時間を計測した．結果は表 7.9 に示した通りだが，平均時間をみると Lupe を持ちいた場合の方が 10 秒ほど多く時間がかかっていることがわかる．この結果についても設問 5 で得られたようにより多数存在する場合においては，既存の手法を用いた場合ではユーザがセンサノードの ID を確認していくという作業が増えることが予想される．また，本評価実験で持ちいた Lupe が利用している電子コンパスの誤差があり，ユーザが情報を取得する際に迷ってしまったという経緯がある．

7.3 まとめ

本章では，ユーザと情報取得対象との距離に基づいた情報取得手法である Lupe が，本論文で述べた，実空間型情報取得手法の機能要件を満たしているかどうか評価した．本手法の評価として複数の被験者による評価実験を行った．本実験では被験者に Lupe を用いた情報取得と既存の情報取得手法を用いたアプリケーションを利用してもらい評価用紙にアンケート形式で評価をしてもらった．また，その際に要した時間を計測し定量的な評価を得た．次章では，本論文で提案した Lupe の今後の展望と課題を述べ，本論文の結論をまとめる．

第 8 章

結論

本章では，本論文における今後の展望，今後の課題そして本論文のまとめを述べる．

8.1 今後の展望

実際に，家庭内においてエンドユーザが Lupe を利用する際に，本論文での Lupe の設計，実装では十分ではない．本節では Lupe の設計?実装における問題点と解決策を述べ，今後の展望とする．本論文で提案した Lupe の実装では情報の表示を 3 段階とした．しかし，得られた評価によると，2 段階で良いという意見もあり，より良い情報提供を行うことが可能であると考える．

また，本論文では家庭内のセンサネットワークにおけるセンサネットワークの異常発見を目的に行っているが，実際にセンサネットワークを運用していくためには様々な操作をユーザは行う必要がある．本論文では問題の起きているセンサノードの発見を実現したが，センサネットワークの管理を行うためには更に特定したセンサノードの設定をその場で変更可能な機構が必要がある．

8.2 今後の課題

本節では，Lupe の今後の課題を述べる．本論文で提案した Lupe では iPhone に搭載されている地磁気コンパスを用いているが，その精度の問題で描画する際にずれるといった問題が起こった．本論文で行った評価実験において，地磁気コンパスのズレによって，正しく描画することが出来ずユーザが混乱するといった場面が見られた．しかし，既存の位置情報取得手法である GPS や無線の電波強度の測定による手法を用いても精度が悪く，現状では地磁気コンパスとレーザレンジファインダによる位置取得が最適ではある．そこで，ユーザの持つ携帯端末の移動加速度の変化を計算して補正するなどの手法を組み合わせることなどが考えられる．

8.3 本論文のまとめ

本論文では，利用者が情報取得対象が設置してある空間において，情報を取得する手法を実空間型情報取得手法と定義した．実空間型情報取得手法とは，情報の取得対象が存在する空間においてユーザが情報を取得する手法である．本研究で対象者としているエンドユーザにはセンサネットワークに関する知識や，データベースに関する知識がないので既存の実空間型情報取得手法を用いてセンサネットワークの管理に必要な情報を取得することは困難である．しかし，今後家庭内などの身近な環境においてセンサネットワークは普及し，センサノードが多数設置されることが予想される．故にエンドユーザが日常的にセンサネットワークで起こっている異常を発見できる必要がある．

そこで，本論文では，ユーザの持つ携帯端末と取得対象であるセンサノード間の距離に応じた情報取得手法である Lupe を提案した．Lupe では，センサノードとの距離に応じた三段階の表示を行う．Lupe を用いることでエンドユーザは特別な操作をせずに，家庭内のセンサネットワークにおいて起こる問題の特定が可能になった．ユーザは異常が起こっている部屋において大まかな表示を行い，問題が起きている箇所に近づくという動作を行うことでより詳しい情報を得る．更に，本手法では AR マーカを用いて問題が起こっているセンサノードを一意に特定することを可能にした．異常の起きているセンサノードを一意に特定した際には対象のセンサノードに関する詳しい情報を表示する．

また本論文で行った実験において，Lupe の有用性を示した．評価では，Lupe との比較対象として仮想空間型情報取得手法である管理画面内にセンサネットワークの情報を表示するアプリケーションを用意し利用してもらった．本論文で提案した Lupe を用いることで，情報の取得対象であるセンサノードが多数存在する環境

において有用であるという評価を得た．また，エンドユーザが日常的に利用することを目的としているので，操作に負担があってはならないが評価結果を見る限り既存のシステムに比べ無駄な手間がなく操作の負担は少ないと言える．

謝辞

本研究の機会を与えてくださり，絶えず丁寧なご指導を賜りました，慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝致します．また，環境情報学部准教授高汐一紀博士，環境情報学部専任講師中澤仁博士には日々厳しくも適切なご助言を賜りましたことを深く感謝致します．

慶應義塾大学徳田研究室の諸先輩方には，折りに触れ貴重なご助言とご指導を頂きました．特に慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程生天目直哉先輩，同研究科修士課程唐津豊先輩，井村和博先輩には日々の研究活動において叱咤激励を頂き，研究内容の相談から校正に渡り大変お世話になりました，ここに深い感謝の意を表します．

また，研究会 OB，OG の今枝卓也氏，伊藤友隆氏，河田恭平氏，橋爪克弥氏，川添瑞木さんのご指導のお陰で今日まで有意義な研究活動を続けてくることが出来ました，深く感謝致します．

そして，慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程米澤祐紀先輩，徳田義幸先輩，山本純平先輩をはじめ，同期の望月剣君，Nguyen Thuy Le さん，また後輩の西條晃平君，山内亜里穂君，碇聖也君，西山勇毅君をはじめとしたΔ S103 のみなさんのおかげで楽しい研究室生活を送ることが出来ましたことを感謝します．

最後に，日々の大学生活を支えてくれた家族に感謝します．

2011 年 2 月 14 日

瀧本　拓哉

参考文献

[1] Brett Warneke, Matt Last, Brian Liebowitz, and Kristofer S.J. Pister. Smart dust: Communicating with a cubic-millimeter computer. *Computer*, 34:44–51, 2001.

[2] K.A. Delin and S.P. Jackson. Sensor web for in situ exploration of gaseous biosignatures. In *Aerospace Conference Proceedings, 2000 IEEE*, volume 7, pages 465 –472 vol.7, 5 2000.

[3] phpMyAdmin devel team. phpmyadmin. http://www.phpmyadmin.net/.

[4] Carsten Buschmann, Dennis Pfisterer, Stefan Fischer, Sándor P. Fekete, and Alexander Kröller. Spyglass: a wireless sensor network visualizer. *SIGBED Rev.*, 2:1–6, January 2005.

[5] Crossbow TECHNOLOGY INC. ekomote. http://www.xbow.com/.

[6] Tonchidot Corporation. Sekai camera. http://sekaicamera.com/.

[7] Takuya Imaeda, Kazunori Takashio, and Hideyuki Tokuda. umegane: Visualization system of sensor data using ar technology, July 2008. Thu, Jul 17, 2008 - Fri, Jul 18 : Tokyo Denki University (Tokyo) (USN, IPSJ-UBI).

[8] Hideaki Shimada, Naoya Sakamoto, Masakazu Okada, Ryota Ayaki, and Kenya Sato. Evans:the visualization system for wireless network using augmented reality technology, July 2010.

[9] Jose Pinto, Alexandre Sousa, Paulo Lebres, Gil M. Goncalves, and Joao Borges Sousa. Monsense - planning, deploying, monitor and control wsns. In *RealWSN 2006*, Uppsala, Sweden, 06/2006 2006.

[10] Ltd. HOKUYO AUTOMATIC Co. Urg-04lx-ug01. http://www.hokuyo-auto.co.jp.

[11] Apple Inc. iphone4. http://www.apple.com/jp/iphone/.

[12] hide tokuda lab. t41. http://www.ht.sfc.keio.ac.jp.