

バイタルセンサのための データストリーム処理システムの設計

山田 典生^{†1} 峰野 博史^{†2}
山川 俊貴^{†3} 水野 忠則^{†4}

バイタルセンサから収集したバイタルデータは、各個人の健康状態の監視や生活様式の追跡に利用することができる。また、健康状態を把握した上で、状態に応じた家電制御や環境制御といったサービス提供に有用であると考えられる。近年のセンサの発展に伴い、バイタルセンサも身近なものとなりつつあり、今後は常時装着型センサによるリアルタイムセンシングが実現すると考えられる。本稿では、バイタルデータをリアルタイムに利用するためのデータストリーム処理システムについて、その要件とアーキテクチャ、その設計指針について述べる。

Design of Data Stream Management System for Vital Sensor

NORIO YAMADA,^{†1} HIROSHI MINENO,^{†2}
TOSHITAKA YAMAKAWA^{†3} and TADANORI MIZUNO^{†4}

The vital data collected from a vital sensor can be used to observe of each person's health condition and to pursue the lifestyle. It is thought that the health condition can be made the best use of for a consumer electronic control and a living environmental control. It has become the development of the sensor, and familiar a vital sensor. It will be thought that a real-time sensing with the sensor always acquired is achieved in the future. In this paper, the requirement, architecture, and the design manual are described about the data stream management system to use vital data in real time.

1. はじめに

近年、社会の高齢化や健康への関心の高まりに伴い、ヘルスケアやセルフケアが注目を集めている。そのようなヘルスケアであるが、デバイス・サービス両面で進展がみられる。

まず、サービス面はデータ収集頻度とサービスのリアルタイム性の違いから大きく2つに分けて考えることができる。一つ目は体重や身長、血圧といったデータを日単位で収集し、蓄積した上でのサービスである。このサービスにリアルタイム性はなく、収集したデータをWeb上にアップロードし蓄積することで、傾向分析を行い健康管理へのアドバイスを提供している。これらのサービスは既に提供されてきている。

一方、脈拍や心電、加速度センサを用いた人の行動センシングで取得されるデータは一つ目のサービスに加えてリアルタイムな利用が考えられる。センサの進展に伴い、常時装着型センサを用いた高密度なデータを収集ができる環境となりつつある²⁾ それにより健康状態や行動様式の詳細を把握することができ、より健康で安全な生活を実現できると考えられる。また、個人の状態を把握した上で環境制御や機器制御といったことへの応用が考えられ¹⁾、一例として心拍データを利用した不整脈検出・通知アプリケーションが考えられる。

近年の無線センサの進展もヘルスケア実現に貢献している。高齢化社会においては、無線センサの導入はいくつかの点で優位である(1)無線センサは使用者に新たな負担を求めずに導入が可能である(2)線センサでも、常時装着型のセンサはリアルタイム計測が可能である(3)他の機器(センサや家電、携帯電話)との連携が可能である。これらの点を活かした無線でリアルタイムにデータ取得可能な環境が整いつつある。

このように無線のバイタルセンサによるデータのリアルタイム収集が可能になると、そのデータ処理にも高頻度生成される大量データのリアルタイム処理が求められる。本開発では近年研究が進められているデータストリーム処理システムによるアプローチをとる。そして、心拍のR波と呼ばれる波の間隔を計測することのできる低コスト心電R-R間隔遠隔計

^{†1} 静岡大学大学院情報学研究所

Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学情報学部

Faculty of Informatics, Shizuoka University

^{†3} 静岡大学工学部

Faculty of Engineering, Shizuoka University

^{†4} 静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

測システムから収集される心拍データを想定し、バイタルセンサのためのデータストリーム処理システムについて開発を行う。

以下、本論文の構成を示す。第2章では関連技術について紹介する。第3章ではシステム概要とシステム要求について説明する。第4章ではアーキテクチャ構成とソフトウェア設計について説明し、第5章でまとめを行う。

2. 関連技術

ここでは本システム開発で利用するデータストリーム処理システム (Data Stream Management System:DSMS) と心電 R-R 間隔遠隔計測システムの説明をする。

2.1 データストリーム処理

近年、継続データであるデータストリームを処理対象とした DSMS の研究が行われている。背景としてセンサネットワークの普及や処理データ量の増加、リアルタイムサービスへの期待が挙げられる。センサは時々刻々にデータを生成しており、これまでのすべてのデータを蓄えて分析するという手法がなじまない。また、生成されたデータはその時点で最も意味のあるデータであることが多い。そのことから今後、センサの普及に伴い大量のデータをその生成時刻に処理することが求められると考えられている。

そのことから、DSMS ではこれまで広く利用されているデータ処理手法である DBMS (Database Management System) のデータを蓄える機能とは異なり、高速で大量なデータ処理を目的として開発されている。特徴としては、継続して到着するデータをリアルタイムで処理することに重点を置くことで、データ蓄積は行わず、メモリ上での処理を行っている。これにより DBMS では困難な高頻度で大量なデータ処理に対応している。

主要なデータストリーム処理システムの研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾を図5に示す。現在ではこれら研究から派生した DSMS が製品として登場しつつある。本開発では DSMS には既存システムを利用し、バイタルセンサ向けに拡張することを基本方針としている。数ある DSMS の中でも本開発ではオープンソースであること、機能理解が容易であること、先行開発コードの再利用性を考慮し、Java 実装である Esper⁸⁾の利用を検討する。

また先述のとおり、DSMS にはデータ蓄積機能がないため DBMS との連携が必要である。Harmonica (参照)ではストリーム処理とDBの統合を研究しており、データストリームに応じた処理可能性判定を行い、データ蓄積方法の最適化を行うことでデータ蓄積の際のデータ損失を防止している⁹⁾¹⁰⁾。本開発では DBMS との連携は今後の課題とし、バイタルデータのリアルタイム処理に焦点を当てる。その他、DSMS の課題としては、処理の高速

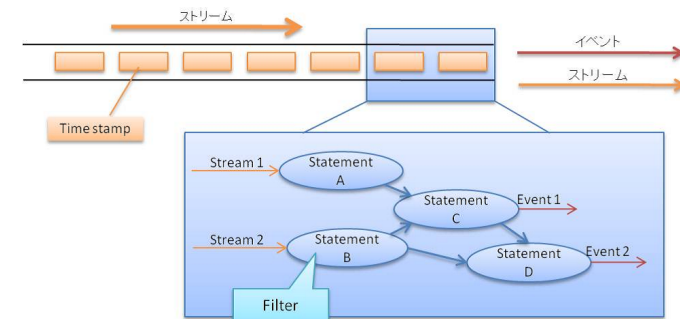


図1 DSMS イメージ

	言語	ソース	特徴
STREAM	C++	OPEN	クライアントサーバモデル
Aurora/Borealis	C++	OPEN	分散機能付き
TelegraphCQ	C	OPEN	DBMSの拡張
Esper	Java	OPEN	ストリーム処理
Gigascopce	—	—	非公開

図2 DSMS プロジェクト例

化と最適化、データ蓄積の確実性・安全性・信頼性の向上などが挙げられる¹¹⁾。

2.1.1 連続問い合わせ

データストリーム処理システムではストリームにウィンドウをかけ、そのウィンドウ内で繰り返し問い合わせを行う¹²⁾。前後データを合わせた処理を行うため DBMS と違い時系列を扱いやすいことが長所である。そのため前回処理からの差分を求めるということも容易である。

連続問い合わせとは、データが到着するごとに問合せをする方式を言う。DSMS では連続的問い合わせは事前に登録しておき、データ到着があるたびに繰り返し実行することになる。ストリーム処理システムはストリームをメモリ上で処理し、DBMS とは違ってディスクへのアクセスが存在しない。そのため、リアルタイムに高速処理をすることができる。処理方式は DBMS のトリガーと類似しているが、処理速度に 8~26 倍の違いが出るとの報

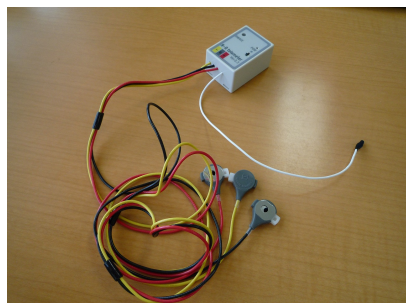


図 3 心電 R-R 間隔計測システム (送信機)

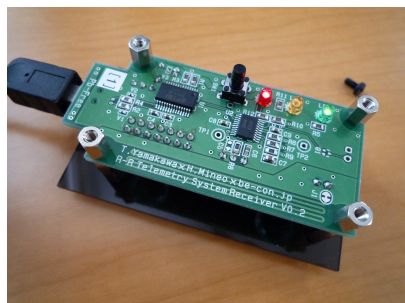


図 4 心電 R-R 間隔計測システム (受信機)

告がある³⁾。

2.2 低コスト R-R 間隔遠隔計測システム

この低コスト R-R 間隔遠隔計測システムは心拍における R 波の間隔を測定することができる。小型で計測データを発信機から受信機へと無線で送信するため低コストなリアルタイム測定が可能であり、高齢化社会における在宅医療やバイタルデータの常時センシングに利用できる。本システムで収集する心拍の R 波は P,Q,R,S,T,U とある心拍波の中で最も明確な波であり、R 波間隔を求めることで徐脈 (1 分間に 60 拍以下)、頻脈 (1 分間に 100 拍以上)、不整脈を検出することが可能であると考えている。人の行動に応じて変化するため判定方法については今後の課題である。

本システムでは心拍を検知すると発信機から受信機に向かい電波を送信する。そして、受信機側でタイマ値を記録して PC へとシリアル送信する。伝送遅延でデータの信頼性を損なうことがないように、タイマ値を送信して前後拍との間隔を計測可能としている。

低コスト R-R 間隔遠隔計測システムはバイタルデータのためのデータストリーム処理システムにおける入力データストリームとして想定しており、取得される脈拍間隔を用いた不整脈検出を目的とする。

3. バイタルセンサのためのデータストリーム処理システム

3.1 システム概要

次代の環境制御や健康管理ではバイタルセンサから取得されるバイタルデータの利用が必須であると考えている。しかし、センサから取得されるデータはデータストリームであり、また、複数センサの連携などにより複数ストリームからの膨大なデータ処理が求められる。

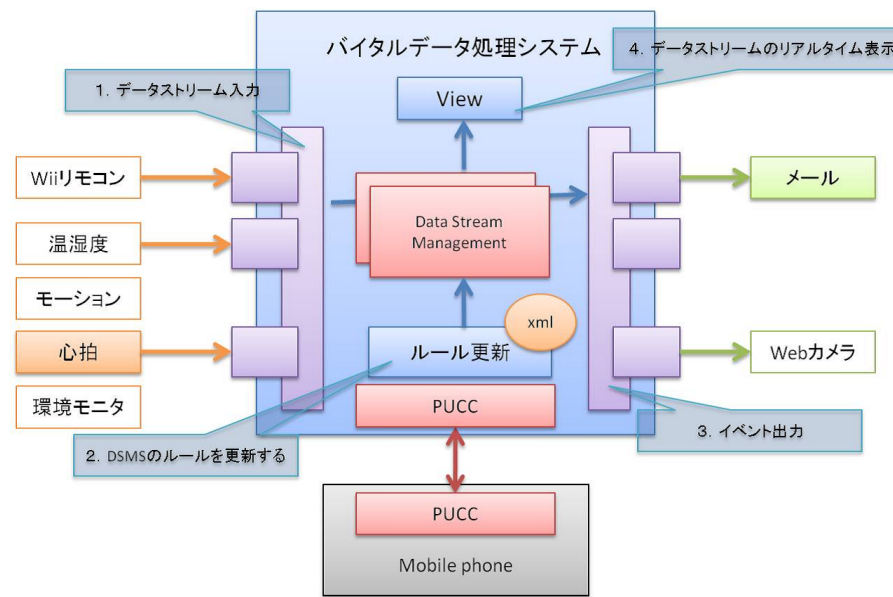


図 5 システム概要

特にバイタルセンサによって収集されるデータはデータ生成頻度や信頼性、蓄積の必要性など処理要件が様々である。本開発ではバイタルセンサの利用を考慮したバイタルデータ処理システムの開発を行う。システム概要を図 5 に示す。

本システムは以下の 5 つの機能で構成されている。

- データストリーム入力受付
- 携帯電話による DSMS のルール管理
- 出力イベント管理
- データストリームのリアルタイム表示
- データストリーム処理 (イベント判定)

本開発では DSMS への入出力、データ表示とルール管理に焦点を当てた。各機能の詳細は次節に述べる。

機能検討をするに当たり作成した、システム外部からのユースケースは図 6 に示す。機能検討においてはデータベースとの連携や機器制御の検討を行った。しかし、本システムにおい

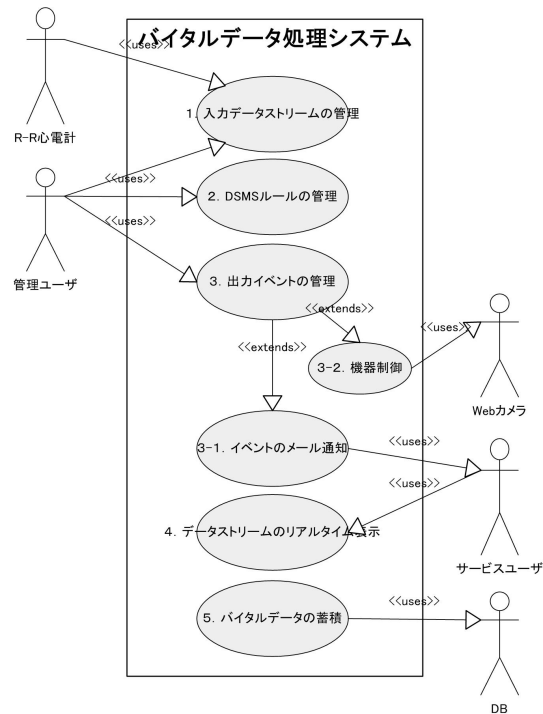


図 6 バイタルデータ処理ユースケース図

ではデータストリームの基本処理を行うことができる上記の 5 機能を対象とした．パッケージ図を図 7 に示す．本システムは Manager によって InputStream, DSMS, OutputEvent を制御する構成である．InputStream は入力データストリーム管理を行う．OutputEvent は出力イベント管理を行う．そして，DSMS は入出力を利用しイベント判定を行うパッケージである．Manager は入力データストリームの情報や出力イベントの情報を取得し，DSMS のルール設定を管理する．また，携帯電話によるユーザからの操作を受け付ける．View パッケージは DSMS に流れるデータストリームをリアルタイムに表示する．

データ蓄積機能や機器制御機能は今後の課題とする．

非機能要求としては以下を要求する．バイタルデータを扱うことにより，イベントの信頼性保証が求められる．

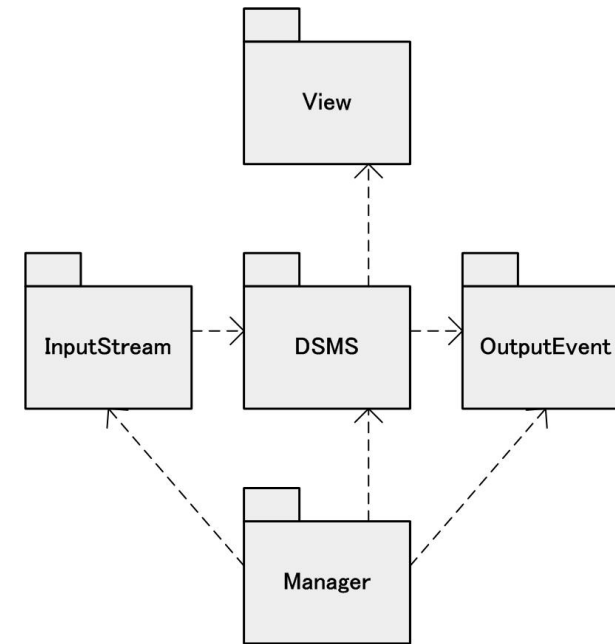


図 7 ソフトウェア構造図

- ルール更新時の到着データも保障する
- リアルタイム表示の遅延を 1 秒以内とする
- イベントの信頼性

3.2 機能詳細

システム概要で示した 5 つの機能の詳細を述べる．

(1) 入力データストリームの管理

入力データストリームの管理では複数ストリームの入力を受け付けることが必要になる．また，一つのデータストリームあたりに複数種類のデータが含まれることがあり，データの対応付けが必要である．新規センサへの拡張性や入力ストリーム情報の管理も行う．

(2) DSMS ルールの管理

DSMS のルールを管理するためには，入力ストリームの情報と出力イベントの情報

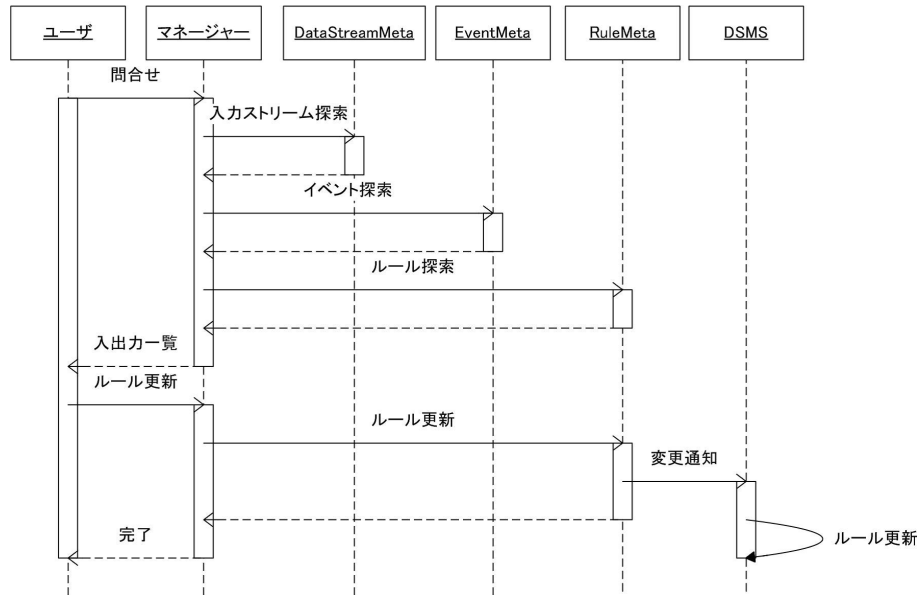


図 8 アクティビティ図

が必要である。入出力部分との連携の中で、変更を把握してユーザからのルール更新に対応する必要がある。ルール更新のアクティビティ図を図9に示す。

オブジェクトとして入力データストリームメタデータ、出力イベントメタデータ、ルールメタデータを持つ。入力データストリームメタデータはストリームを識別し、ストリームに含まれるデータ種類を記録する。また、データ生成頻度や優先度情報も保持する。イベントメタデータはイベント種類を、ルールメタデータは設定ルール情報をそれぞれに保持する。

(3) 出力イベントの管理

出力イベント管理ではメール通知機能が必要である。また、今回は対象外の機器制御やデータベース連携を考慮した拡張性を持たせた設計にすることが必要である。

(4) データストリームのリアルタイム表示

入力データストリームはユーザの理解を容易にするため、リアルタイムに表示される必要がある。ヘルスケアは健康状態が見える状態にすることで健康への意識を高める

ことになる。また、個別要件としては複数表示に対応することが望まれる。脈拍データを例に見ても、時間変化と間隔変化を選択できることが必要である。複数の表示形式に対応できるようなアーキテクチャ構成を検討する。

4. システム設計

4.1 アーキテクチャ構成

本システム開発でのアーキテクチャ構成の指針について述べる。開発システムはセンサデータ処理を携帯端末から設定する対話型システムである。また、センサやイベントの追加変更の発生が予想され、拡張性が求められる。そして、バイタルセンサを想定していることによりデータ蓄積の確実性やイベント結果の信頼性、結果のリアルタイム性が求められる。そこで以下の点に考慮したアーキテクチャの検討を行う。

- 入力データストリームの変更容易性
- イベントの拡張可能性
- リアルタイム性

4.2 MVC アーキテクチャの適用

本開発では前述の通り携帯端末からの対話型システムの側面と DSMS というデータフローの側面をもつ。DSMS 本体は PipeFilter アーキテクチャであるがそれを取り囲む本開発は対話型のため適さない。また、センサやイベントへの対応という点で柔軟性が求められる。その上で本開発では対話型システム向けアーキテクチャである MVC とオブジェクト指向アーキテクチャを適用する。オブジェクト指向を適用する利点は拡張性と再利用性である。今後、様々なバイタルセンサや各種センサに対応す上での拡張性を考慮した。また、DBMS を利用した先行研究の開発環境の再利用性という側面もある。

また、MVC アーキテクチャの適用について図9に示す。MVC アーキテクチャは、設計が複雑になる可能性もあるものの、Model (メタデータ) と View (リアルタイム表示)、Controller (各種管理) を区分することでロジックを明確にすることができ、センサやイベントの追加による、データ頻度や処理優先の変更、表示方式の変更に柔軟に対応できると考えている。

5. おわりに

本論文ではバイタルデータのためのデータストリーム処理システムのシステム概要と要件定義及び設計指針について述べた。本開発では入力ストリームに心拍データ、出力イベン

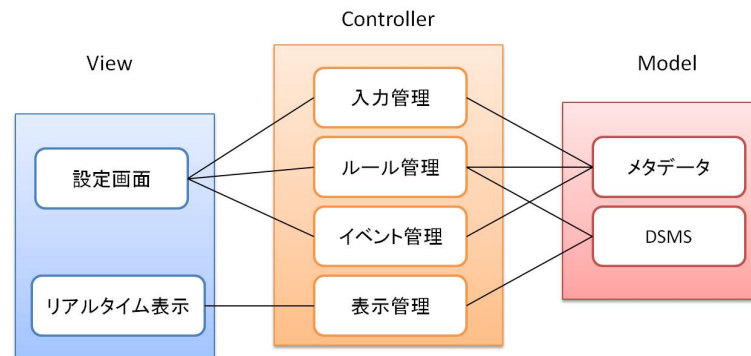


図 9 MVC アーキテクチャの適用

トに通知メールを想定している．今後は多様なバイタルセンサへの対応や機器制御などのイベントに対応すべく拡張性を考慮した開発を進めてゆきたい．

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究 A (21680007) の助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

参 考 文 献

- 1) G. Virone, A. Wood, L. Selavo, Q. Cao, L. Fang, T. Doan, Z. He, R. Stoleru, S. J. A. Stankovic : An Advanced Wireless Sensor Network for Health Monitoring, HealthNet'07, June 11, 2007
- 2) 安藤繁, 田村陽介, 戸辺義人, 南正輝: センサネットワーク技術, 東京電機大学出版局
- 3) 森下民平, 技術レポートデータストリーム管理システム, SOFTECHS Vol.30
- 4) Don Carney, Ugur C. etintemel, Mitch Cherniack, Christian Convey, Sangdon Lee, Michael Stonebraker, Nesime Tatbul, Stan Zdonik, "Aurora: a new model and architecture for data stream management", The VLDB Journal (2003)
- 5) Arvind Arasu, Brian Babcock, Shivnath Babu, Mayur Datar, Keith Ito, Itaru Nishizawa, Justin Rosenstein, and Jennifer Widom, "STREAM: The Stanford Stream Data Manager (Demonstration Proposal)", ACM SIGMOD 2003, p.665, 2003.
- 6) D. J. Abadi, et al. " The Design of the Borealis Stream Processing Engine, " Proc. CIDR, pp.277-289, 2005
- 7) S. Chandrasekaran, et al. " TelegraphCQ: Continuous Dataflow Processing for an Uncertain World, " Proc. CIDR 2003.

- 8) Esper: <http://esper.codehaus.org/>
- 9) 山田真一, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之: ストリーム管理システムにおける複数永続化要求最適化手法, DEWS2007
- 10) 渡辺 陽介, 北川 博之, 分散ストリーム処理環境における持続型問合せ処理方式, 日本データベース学会 Letters Vol.6, No.2
- 11) Brian Babcock, Shivnath Babu, Mayur Datar, Rajeev Motwani, Jennifer Widom, "Models and Issues in Data Stream Systems", In PODS (2000).
- 12) A. Arasu, et al. " The CQL Continuous Query Language: Semantic Foundations and Query Execution, " VLDB Journal, vol. 15, no. 2, 2006.