



④ 組み込みソフトウェア分野の共通問題の考え方

平山雅之（日本大学） 中本幸一（兵庫県立大学）

組み込みソフトウェア分野の立ち位置

ソフトウェア工学は 1960 年代以降、大型計算機を用いた情報システムを開発するための技術として進歩してきた。一方、1970 年代以降、マイクロプロセッサの高度化に伴いさまざまな組み込みシステムが開発されるようになった。このため後発である組み込みソフトウェアの開発技術の多くは、先行する情報システム分野の技術を参考に工夫されてきた。しかしながら、組み込みソフトウェアが誕生しすでに半世紀近くが経つなかで、組み込みシステム分野のソフトウェア開発技術は情報システム分野のソフトウェア開発技術にかなり追いついてきている。さらに近年ではネットワーク技術や半導体技術が進歩し、従来以上に多くの機能や役割を担う組み込みシステムが出現し、そこでは、これまでにないさまざまな制約や要求事項が求められている¹⁾。こうした中で組み込みソフトウェア開発では、従来の開発技術では解決が難しい問題も指摘されるようになってきている。これらの問題については本会の組み込みシステム研究会をはじめさまざまな場で多くの研究者や実務家が参加して議論が続けられている²⁾。しかしながら、個々の研究者らが提案する技術やそれらの適用評価検討では、対象システムが異なる場合も多く、議論がかみ合わない場合も少なくない。本稿では、まず近年の組み込みソフトウェアが抱える問題を整理したうえで、組み込みソフトウェア開発技術を議論するための共通問題のあり方について考えてみたい。

組み込みシステムが持つ特徴と共通問題作成の考え方

❖ 組み込みシステムが持つ特徴

組み込みシステムとはさまざまな製品に組み込まれ多様な環境で動作する計算機システムであり、製品の機能実現を図る上で中核的な役割を担っている。基本的に組み込みシステムはハードウェア要素とソフトウェア要素が連携動作して実現され、このうちのソフトウェアの部分を組み込みソフトウェアと呼ぶ。通常の情報システム分野のアプリケーションソフトウェアなどと比べると、ハードウェアとの関係性が深い点が決定的な違いと考えられる。以下、組み込みソフトウェアの特徴のいくつかを紹介する。

特徴 1：ハードウェアとの相互依存性

組み込みソフトウェアを実装し動作させるマイクロプロセッサは、8bit から 32bit などさまざまな種類のものが存在し、また搭載されるメモリサイズや消費電力などもさまざまであり、これらはシステムの実現機能などによって使い分けられる。さらに近年は複数 CPU コアを搭載したマルチコアを利用した組み込みシステムなども開発されている。このため組み込みソフトウェア開発では利用するプロセッサの特性や命令セットとのすり合わせがきわめて重要になる。

特徴 2：システム間連携

従来の組み込みシステムは単独で動作し、製品の制御などを担う場合が多かった。しかし近年、組み込みシステムと情報システムがネットワークを介して連携し新たな役割を生み出す系も増えてきており、従来以上にシステム連携を考慮した開発が必要とされる。

特徴3：要求の多様性と複雑さ

組み込みシステムにさまざまな役割を課すために、システムやソフトウェアに対する要求事項は多様化している。特に応用分野によっては、連続制御や離散制御などが混在するなど、機能や要求事項の重なりや複雑さも増している。このため組み込みソフトウェア開発でも要求工学的なアプローチが必要とされてきている³⁾。

特徴4：性能面の要求

組み込みシステムの多くはセンサやアクチュエータを介して実世界との接点を持つ。具体的には時間的に実世界との符合をとるためのリアルタイム性や実世界との状況認識の符合をとるためのリアクティブ性といった性質が重視される。また、システムが動作する実世界の環境条件へのシステム適合性なども重要な要素である⁴⁾。

特徴5：開発プロセス面の特徴

組み込みシステムの多くはコンシューマ製品などさまざまな競争領域の製品に搭載される。競争領域にある製品は、市場動向により製品仕様が開発途中でも頻繁に変更されるなど要求の不確実性も特徴の1つである。このため、こうした特徴に柔軟に対処するために開発プロセス面でのさまざまな工夫も求められている⁵⁾。

特徴6：信頼性、安全性への要求

高信頼性や安全性が求められる組み込みシステムも少なくない。高信頼性や安全性を実現するためには、システムのテストに頼るだけではなく、開発ライフサイクル内で信頼性、安全性を意識した開発方法を利用するとともに、システム構造面からの対処も必要となる⁶⁾。

❖ 共通問題作成に向けた考え方

上記のように組み込みソフトウェアはさまざまな特徴を持っており、それらに起因して多くの問題や課題が議論され技術提案がなされてきた。これらの議論や技術提案には、多様なシステムが題材として用いられてきた。しかし、それらの多くは、個々の研究者が議論や提案する方式ごとに用意したものであ

り、第三者による比較や追検討が難しかった。このため、さまざまな論点からの議論を展開するのに適した組み込みソフトウェア分野の共通問題の整備が求められている。

この共通問題の考え方については、本会ソフトウェア工学研究会のウィンターワークショップ2012で筆者が紹介したように⁷⁾、医学分野でのノックアウトマウスや治験などの考え方が参考になる。紙面の都合上、詳細な説明は避けるが、ソフトウェア工学分野においても現実世界で開発される実ソフトウェアが持つ性質とほぼ同じ性質を持つ評価用（技術治験用）問題を用意する。そして議論や評価する目的ごとに、その評価用問題の性質の一部を削除したり組み込むことで特定技術の評価や議論に適した問題を用意するという考え方である。以下に示す「組み込みソフトウェア分野の問題（案）」はこの考えに基づいて、組み込みソフトウェアが有する前述の特徴を念頭に、さまざまな側面を議論するための仕様を組み入れたものである。ただし、医療分野のマウスと同様、ソフトウェアの規模的な側面については現実の大規模化に対応する要素は盛り込んでいない。

また問題は多くの研究者や技術者に利用していただくという点から、特許や第三者の知的財産に抵触しないといった配慮も必要になる。この点から問題は世の中にありそうだが、まだ技術提案や製品化などがされていないものが望ましい。

共通問題で議論したい技術的課題

❖ 問題を構成する技術要素

具体的な問題（案）として、ここでは図-1に示す「自転車事故防止警告システム」を考える。この問題システムは、「走行状況取得機能」「環境条件取得機能」「危険運転警告機能」「外部接続機能」「事故回避機能」という主要な5つの機能から構成されている。

この中で「走行状況取得機能」や「危険運転警告機能」に関しては意図的に時間制約やタイミングを記述してある。これらの記述は主にリアルタイム性

組込みシステム分野の共通問題 (案)

1. 概要

自転車を対象に、走行状況センシング、走行環境センシング、危険運転警告、事故回避などの機能により自転車事故を防止するシステムを考える。

2. 問題の設定

24インチのタウンサイクルを対象とし、下記の主要機能からなる車載装置および外部接続装置を考える。

3. 主な機能

3.1 車載装置

① 一般的な事項

- 自転車に搭載するシステムであるため、車載システムの総重量、およびユニットのサイズは物理的な制約を受ける。(たとえば 500g 以下、10cm × 5cm × 2cm など)
- 車載システムはその製品の性質上、システム実現に要するコストは自転車本体価格を上回らないことが望ましい。
- システムは一般道路をさまざまな条件のもとに走行する自転車に装着するため、耐久性、信頼性については高い水準が求められる。なお、振動など環境条件に起因するセンサほか、ハードウェア故障に対して、ソフトウェアによる故障診断やリカバリ方式を用意する。
- システム動作のための電源は電池あるいは走行時に充電可能な方式とする。
電池を利用する場合には、状況に応じた省電力に関する工夫を用意する。
後者の場合には充電に対応する機能なども必要となる。
- 本システムのユーザは一般の自転車利用者であり、さまざまな年齢層、さまざまな自転車利用の利用目的が想定される。
- システム開発に際しては、開発期間、コストなどのビジネス制約を考慮し、上記の機能やハードウェアの進化を念頭に段階的な機能追加や設計資産再利用を考えても構わない。

② 走行状況取得機能

- 車軸あるいは車輪スポークにセンサを取り付け、車輪の回転パルスを取得する。あるいはほかの方法により直接的に走行速度を計測しても構わない。
- ハンドルにセンサを取り付け、ハンドルの回転角を取得する。
- 車体の適切な位置にセンサを取り付け、車体の傾きを取得する。

なお、これらのセンサによるデータは、適切な時間間隔 (たとえば 0.1 sec 単位など) で取得し、車載コンピュータにログとして記録していく。

③ 環境条件取得機能

- センサにより昼間あるいは夜間であるかを検知する。
- 走行時の天候が晴天であるか雨天であるかを検知する。(路面のウェットとドライ検知)
- 車体振動などを検知し、路面状況 (悪路、舗装路) を判別する。
- 車体前方の物体の有無を検知する。
- 適切なセンサなどにより走行路の幅を検出する。
- 走行路上の交通信号を認識する。

なお、上記センサによるデータは、適切な時間間隔 (たとえば 0.1 sec 単位など) で取得し、車載コンピュータにログとして記録していく。

また、環境条件の認識などについては画像情報などを取得し利用する方式を採用しても構わない。

・
・
・

④ 危険運転警告機能

- 上記のセンシングデータを活用して、マイコンユニット (組込みソフトウェア) で危険運転を判別し、運転者ならびに周囲の歩行者、自動車などに警告する。
警告は運転者ならびに自転車周囲者に適切なタイミングで適切な間隔で断続的に行う。
- 危険運転としては速度超過、ふらつき運転、急ブレーキ連続運転などを考える。
ただし、これらは、自転車の走行条件ならびに走行環境条件などによって、多様な判断が必要となる。
- 運転者に対する警告方法としては、以下を考える。
ハンドルのバイブレーションによる警告
音声による警告
光や簡易モニタ上の警告サインによる警告
- 自転車周辺者への警告方法としては、音声、光などによる警告を考える。

⑤ 外部接続機能

- 車載装置と後述する外部接続装置の間の接続は、有線通信あるいは無線通信などを介して行う。

⑥ 事故回避機能

- 自車の走行状況 (走行速度など) と前方物体との距離などから、衝突の可能性が高いと判断される場合には、判定後に速やかにあらかじめ用意した速度減速パターンに従って走行速度減速のためのブレーキを作動させる。
- たとえば秒速 5m で走行中に 5m 前方に物体を検知した場合、0.5 秒後の走行速度を 80% まで減速させる。
- また、きわめて危険な運転状況と判断し、危険運転警告をした後に、運転者による減速などの対処がなされなかった場合、あらかじめ用意した速度減速パターンに従い、ブレーキにより走行速度を一定時間内に 90% まで減速させる。

3.2 外部接続装置

外部接続装置の役割は

- 車載システムで記録した走行状況データ、走行環境条件データ、警告データを車載装置の外部通信機能を介して受け取りグラフなどの形で可視化する。
- 危険運転の判断のための判断基準データを変更する場合には、外部装置から車載システム側の設定条件を書き換えるなどの役割を持つ。
- また車載装置側のセンサなどを変更し、危険運転判断の方法が変更される場合に、車載システム側の判定プログラムの部分変更などにも対応させる。

図-1 組込みソフトウェア共通問題—自転車事故防止警告システム仕様 (案)

やリアクティブ性といった特性の議論材料として加えたものである。また、このシステムの実装はマイコンコンピュータを利用することを念頭に置いているが、たとえば「環境条件取得機能」などのためにカメラなど画像系センサを利用すると単純なマイコンだけでは処理しきれず、マルチコアなどのハードウェアプラットフォームやソフトウェアアーキテクチャ面の検討も必要になるかもしれない。もちろん問題仕様に記したレベルでも「走行状況取得機能」

「環境条件取得機能」「危険運転警告機能」「事故回避機能」などの各機能（タスク）の優先度や処理割込みタイミングについても考えることができる。また、組み込みシステム特有のハードウェア・デバイス側の故障や環境条件との不整合の問題などを起点にシステム安全性や信頼性の議論やそのための設計メカニズムの検討材料としても利用できるのではないだろうか。実はこれらの点を詳細に検討していくと、このシステムは実開発の現場でよく見かける組み込みシステムの要素を箱庭に詰め込んだミニチュア版に仕上がりに、機能と開発コスト、開発プロセス面の問題を考えるにも手ごころな問題になるのではないかと思う。また最近の話題になっている連続系システムのモデル開発を意識して、「事故回避機能」を書き加えてみた。

❖ 共通問題が期待している利用法

図-1 に示したものは問題としてのシステム仕様案であり、この問題を利用する研究者、技術者によって、部分的に切り出したり、機能追加をしたり、さらに具体的な詳細仕様を考えて利用していただくことを想定している。医療分野のノックアウトマウスよろしく、さまざまな亜種の問題が出てくることで、この分野の技術検討材料として広く利用されることを期待している。

共通問題の熟成に向けて

組み込みソフトウェア工学分野の議論の共通基盤としての共通問題の作成方針と問題案について紹介した。組み込み分野は発展途上の分野として日々さまざまな技術提案や議論がなされている。本稿で提示した

問題案を端緒に、共通問題としてどのような要素が盛り込まれているべきかについて、この先多くの技術者、研究者の方々と議論を進めていきたいと考えている。また、ここで示した問題案は筆者の研究室の学生たちとの日ごろの議論の中で、自転車事故の増加問題について話していた際に、道路や走行ルールといった交通インフラの側面だけではなく、自転車に問題で示したような組み込みシステムを取り付けることで自転車事故を減らすことができるのではないかとこのところから出発している。この問題に示したようなシステムが世の中で開発・利用され自転車事故が低減することも期待したい。

参考文献

- 1) 松尾尚文 他: 情報家電システムの安全検証, 日本信頼性学会誌, Vol.30, No.3, pp.243-251 (2008).
- 2) 情報サービス産業協会編: 組み込み分野の新しい開発技術サービス産業白書 2011-2012, pp.226-235.
- 3) 青山幹雄, 中谷多哉子 他: 要求工学の動向と要求工学知識体系 REBOK, 情報システム学会誌, Vol.6, No.1, pp.51-60 (2010).
- 4) 戸川 望 編: 組み込みシステム概論, CQ 出版 (2008).
- 5) 情報処理推進機構ソフトウェアエンジニアリングセンター編著: 組み込みソフトウェア向け開発プロセスガイド, 翔泳社 (2008).
- 6) 組み込みシステム技術協会編著: 組み込み系技術者のための安全設計入門, 電波新聞社 (2010).
- 7) 平山雅之: ソフトウェア工学分野の技術評価フレーム, 情報処理学会ウインターワークショップ 2012 イン琵琶湖論文集, pp133-134 (2012).

(2013年6月5日受付)

平山雅之 (正会員) hirayama.masayuki@nihon-u.ac.jp

日本大学理工学部応用情報工学科教授。早稲田大学大学院理工学研究科、大阪大学大学院基礎工学研究科修了。工学博士。ソフトウェア工学の実用化などを研究し、2011年より現職。本会監事、組み込みシステム研究会主査など歴任、本会フェロー。

中本幸一 (正会員) nakamoto@ai.u-hyogo.ac.jp

NECを経て、兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科教授、名古屋大学大学院情報科学研究科附属組み込みシステム研究センター特任教授。組み込みシステムに関する教育、研究に従事、本会組み込みシステム研究会前主査。