

システム要件に含まれる暗黙的な前提・制約の見える化

Method for eliciting implicit premises and restrictions from system requirements

久代 紀之^{1*} 畑中 翔太¹ 大澤 幸生²
Noriyuki Kushiro¹, Shota Hatanaka¹, Yukio Ohsawa²

¹ 九州工業大学 ¹ Kyushu Institute of Technology
² 東京大学 ² University of Tokyo

Abstract: 制御対象が広範に分散し、人・物理環境と直接インタラクションする Cyber Physical System の実現には、安全性・信頼性を考慮した設計が重要である。システムの安全性を脅かす要因のひとつが、設計時に想定しなかった（できなかった）想定外シナリオである。本研究では、対象システムのステークホルダに、「手段の実現により要求が達成される」の演繹的なルールが否定される事例を階層的に問うことで、設計者に想定外シナリオを認知させる手法を提案する。

1 はじめに

実世界に多数の（組み込み型）センサや機器を配置し、これらをネットワークを介し、サイバー空間のコンピューティング能力に結びつけることで、高度な社会システムを実現しようとする動きが活発化している。いわゆる、スマートグリッド、遠隔医療、広域災害監視など Cyber Physical System (CPS) と呼ばれるものだ。組み込みシステムという日本の強みを発揮できる分野でもあり、産官両面で取組みが活発化している [1]。しかし、現状では、CPS を構築するための技術（設計、実装、評価のいずれも）を、以下の理由により、十分に保有しているとは言えない。

1. システムに関係する多数の人（ステークホルダと呼ぶ）の要求を知る方法を持たない。
2. ステークホルダの多様な価値感を満足するシステム設計手法を保有しない。
3. 対象システムが、人間行動を含むオープンシステムにならざるを得ず、システムのユースケースシナリオを想定できない。
4. 広域に分散したセンサ・機器が、実世界からどのようなハザードを受けるかを事前に把握できない。
5. システムが、広域に分散し、かつ並列性、即時性が要求される。

CPS では、システムの対象が広範囲にわたるため、特定のステークホルダやユースケースシナリオを想定した設計が難しく、また社会的なインパクトも大きいので、システムの安全性・信頼性に関し、高いレベルの達

成が要求される。何を課題として設定し、どんなモノ作るか (What) を知る要求獲得（要求を知る行為を、要求獲得と呼ぶ）が、従来のシステム開発に比較し、CPS 開発では、さらに重要度が増している。

2 CPS における要求獲得の重要性

要求獲得には、一般的に以下のような課題がある [3]。

- システムのステークホルダは、要求を知らない。
- 知っていたとしても、これをうまく語るができない。
- 語れたとしても、設計者がこれを理解することが難しい。

CPS においては、前述した理由により、その要求の獲得は、とりわけ困難である。特に安全性・信頼性の高いシステムの実現には、システムが適用されるドメインやシステム実現上の前提・制約などの非機能要求 [2] を十分に踏まえた設計を行う必要がある。しかし、ステークホルダ自身が、要求（何を課題として、どういう目的を達成したいか）を正しく認識していないことも多いし、個々のステークホルダの保有する知識は自ずから限定されるため、その要求が内包する前提や制約に関しても、明示的に認識していることは、少ないと考えられる。

その結果、何となく思ったものと違うシステム、もっと、悪くは“想定外”のハザードに対し、リスクを包含するシステムが実現されてしまうことがあることは想像に難くない。CPS 設計において、多様なステークホルダから、前提・制約を含む要求をどのように獲得するか要求獲得手法を確立することは、その成否にかかわる重要かつ大きな課題である。

*九州工業大学 情報工学部
福岡県飯塚市川津 680-4
E-mail: kushiro@mx1.ttcn.ne.jp

3 要求獲得の方法

前述したように、ステークホルダからの要求獲得は難しい。しかし、いかに難しくとも、ステークホルダ語ってもらうことしか、現状その方法はない。一方、要求をうまく聴きだせたとしても、もともと初期段階で獲得できる要求は曖昧なものだし、設計の具体化の過程で大きく変化する。これらの特性を持つ要求を扱うために、筆者らは、要求を語りやすい場を作るための“問い” [7] とステークホルダと設計者が対話しながら要求を自己・相互発見的に具体化していく要求設計プロセス [8] で構成された要求獲得手法を提案した。さらに、左記手法をプロダクトライン開発 [10] と呼ぶ技術インフラの開発に適用し、効果を確認した。

多様なステークホルダを対象とするということ、将来を含めた実現上の前提・制約に関する情報の獲得が重要であるという点で、プロダクトライン開発とCPSの共通性は高く、本研究では、上記手法を拡張することで、CPSにおける要求獲得手法へと展開することを試行した。

3.1 要求獲得手法とプロセス

要求を獲得するための中心的な作業は、ステークホルダと設計者のコミュニケーションである。コミュニケーションの方法には、インタビュー、会議などの形態がある。本研究では、手軽に導入できるという視点でインタビューを基本とした。獲得すべき要求の構造として、システム目標論 [4] の考えをベースとした構造 (図 1) を設定した。

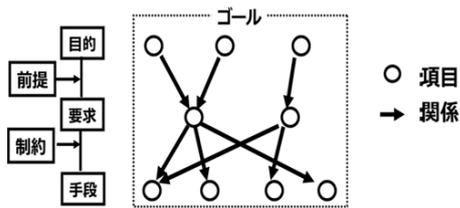


図 1: 要求の基本構造

図 1 において、目的とは、要求を満足することで達成できるコト、要求とは、目的を達成するために必要な機能、手段とは、要求を達成するためのモノ、前提・制約とは、これら手段-要求、要求-目的が達成されるための条件 (ルール) を示すものと定義する。さらに、ゴールとは、これら組合せによりシステム全体で達成されるコトとする。

インタビューでは、目的・要求・手段、前提・制約とその相互関係を問うことになる。これらを問う手法として、ラダリング [5] が有名である。要求に対し、“な

ぜ”という問いを繰り返す手法である。ラダリングは、本質的な要求は何かを探るというマーケティングにおいては有効な手法である。しかし、システム設計における要求獲得に適用しようとした場合、以下の2つの課題がある。

1. 人が持つ概念的説明 [6] の傾向への対処である。「なぜメガネが必要なのか?」という問いに対して「目が悪いから」の説明がこれにあたる。一見、理にかなった回答に見える。だが、設計における要求としては不十分である。設計という文脈では、「良く見えない状態に見えるようにするため (目的)」に、「めがねを用いる (手段)」というような構造の要求獲得を行う必要がある。
2. 前提・制約の獲得への対処である。前提や制約は、要求が語られた文脈を理解するという他に、目的・要求・手段の組み合わせの妥当性を評価する基準になる。前述の例では、近眼、遠視の人が (前提)、ものが良く見えない状態に見えるようにする (目的) ために、自分の度にあった (制約)、めがねを用いる (手段) というような構造を持った情報が獲得できるインタビュー手法が必要とされる。

これらを満足するために目的・要求・手段とその前提・制約、およびその相互関係を構造化された“問い”により語らせる2次元ヒアリング手法を考案した。2次元ヒアリング手法とは、目的・要求・手段の3階層を問う質問 (一次元) と、その前提・制約を獲得するためのPositive/Negative (以下P/N) 理由を問う質問 (二次元) を組み合わせたものである。以下の手順で実施する。

Step1: インタビュー中に“要求”が提案された場合、その要求を主張するP/N理由を質問

Step2: 「なぜそもそもその要求を行うのか?」という目的の質問を行い、その回答に対し、Step 1と同様にP/N理由を質問

Step3: 要求を達成する手段を質問し、その回答に対し、Step 1と同様にP/N理由を質問

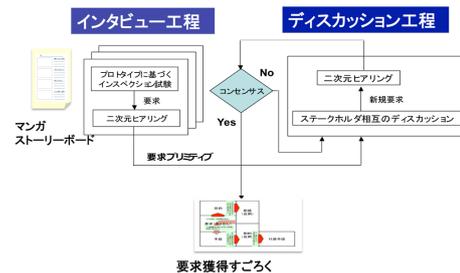


図 2: 要求獲得プロセス

要求獲得インタビューの実施プロセスを図 2 に示す。ステークホルダ毎のインタビューとディスカッションの2工程で構成され、上述の2次元ヒアリングをこの両工程で実施することで、多様なステークホルダから、目的-要求-手段とその前提・制約を含む構造を持った要求を獲得することを可能とした [7][8]。

3.2 CPSの要求獲得のための手法の拡張

CPSの要求獲得は、一般的なシステム設計に比較し、下記特徴を有する。

1. ステークホルダが多種・多様である。ステークホルダには、システムに直接的な関心がない人も含む。
2. 実世界に広く設置されることになるため、安全性・信頼性により配慮した設計が必要である。想定外のハザードを含めて、要求の前提・制約に関し、深く・広く抽出する必要がある。

これら特徴を鑑み、図2に示した要求獲得プロセスの最初と最後の工程に、下記2つの手法を追加した方法を試行した。

1. マンガストーリーボード：多種・多様なステークホルダ、システムに関心のない人に対し、インタビューの開始を容易化する。
2. 要求獲得すごろく：(暗黙的な) 要求の前提・制約に関する気づきを促進する。

以下に、本研究で試行したマンガストーリーボードおよび要求獲得すごろくの概要および試行の評価結果について記載する。

4 マンガストーリーボード

4.1 目的

CPSのステークホルダには、システムに対し直接的な関心のない人も含む。当然のことながら、要求の前提となる課題や要求の達成により満足すべきゴールを明確に認識していない人も多い。一方、課題の具体性のレベルが、その後の要求獲得会議の成否を決める大きな要因となる[13]ことが知られている。課題が抽象的すぎても、具体的すぎても[12]要求獲得はうまくいかない。

これら課題の解決のために、課題とゴール(目的)を、マンガを用いて記載したストーリーボードをインタビューの初期段階に導入する。マンガに記載された情報を元に、各ステークホルダのインタビューを行うことで、各ステークホルダの持つ課題とゴールを、具体化することを目的とする。

マンガで、要求を記載することの意図を下記に記載する。

- ものごとを正確に情報を伝えるには、言葉が優れているが、インタビューの初期段階では、言葉で上手に語れないことが多いこと。
- インタビューのきっかけとして、言葉よりマンガの方が優れていること。
- マンガには、その描かれた情景に暗黙的な前提や制約が含まれている可能性が期待できること。

4.2 概要

マンガストーリーボードの構成を図3に示す。獲得したい要求の構造(図1)になぞらえた4コママンガにて記載する。設計者は、マンガに記載された内容(背景も含む)に対する質問することで、課題と達成したいゴール(目的)を理解し、具体化していく。



図3: マンガストーリーボード

4.3 評価

テーマを「ユーザに価値のあるリコメンドシステムを設計する」として、下記の手順にて、評価実験(被験者;学部学生4名、実験時間:1時間30分)を実施した。

1. マンガストーリーボードの記載
2. 2次元ヒアリングによる個別インタビュー
3. ディスカッション:ブレインストーミング
4. 要求すごろく記載(個別)

マンガストーリーボードを導入した場合のインタビュー開始時の会話のきっかけのハードルを下げられる効果は、顕著であった。また、図4、図5に示すように、マンガに記載された内容に関する質問を行うことで、口頭での説明では語られなかった目的や課題が抽出できるケースが観察された。その後の2次元ヒアリングによるインタビューにおいても、これら2つのケースに関しては、多くの要求を収集することができた。

一方で、手段とゴールが同一になってしまったケース(図6)、課題・ゴールの背景情報がほとんど記載されないケース(図7)も観察された。図6のケースは、先述した“概念的な説明[6]に陥ったケース”であり、

マンガへの質問に続く、2次元ヒアリングにより、ゴールを定義することが可能であった。

図7のケースは、ステークホルダのテーマ自体に対する理解・関心の低さを意味しており、2次元ヒアリングを用いたヒアリングを実施しても、代替の解決策が数件提案されるだけで終了し、有益な要求を獲得することが難しかった。図7ケースの場合、インタビュー工程を進める前に、課題をイメージできるような情報を与え、マンガストーリーボードを充実させた後に、ヒアリングを行う等の措置が必要である。

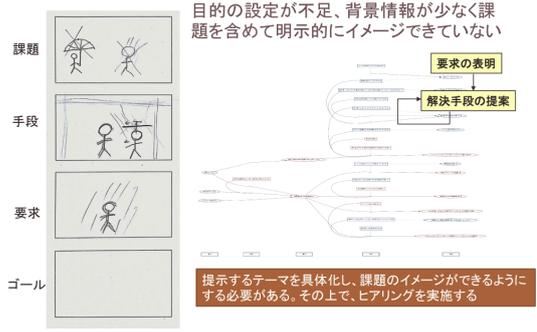


図7: マングストーリーボード試用結果4

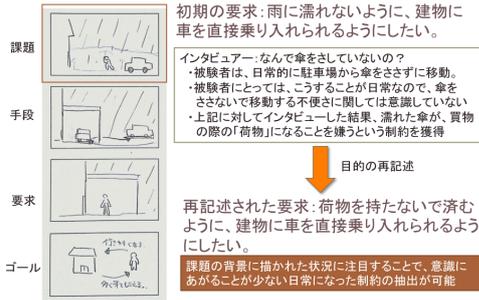


図4: マングストーリーボード試用結果1

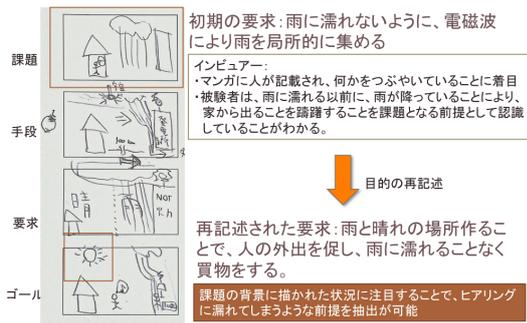


図5: マングストーリーボード試用結果2

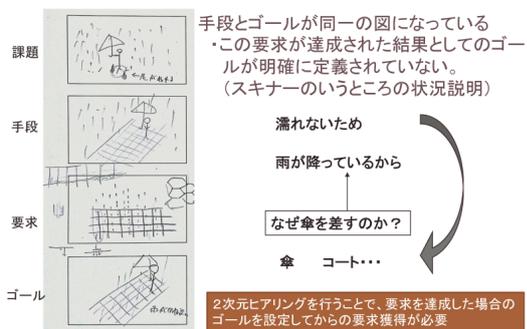


図6: マングストーリーボード試用結果3

4.4 課題と改善策

ストーリーボードとしては、2コマ（課題、ゴール）、3コマ（課題、ゴール、手段）、4コマ（課題、要求、手段、ゴール）などの構成が考えられる。それぞれ被験者を用いた評価を別途実施したところ、以下に示すような得失が観察された。

- 4コマ：マンガの記載する手間が多い。要求とゴールの区別をつけることが難しく、ゴールの記載ができないケースが発生する。
- 2コマ：マンガを記載する手間は低い。一方で、ゴールに手段を含めた絵を記載せざるを得ず、特定の手段により、ゴールに記載されるマンガが強く影響を受けてしまう。
- 3コマ：マンガを記載する手間としては、上記2ケースの中間であるが、課題⇒ゴールと、これらと独立して手段が記載されるようにマンガのコマ割りを配置することで、ゴールの記載内容を特定の手段の影響を受けないようにすることができる。

上記検討から、マンガストーリーボードとしては、3コマを基本とし、課題・ゴールと手段を独立して記載することができるよう、またインタビューの進展に伴いマンガを自由に追記できるようにする¹。

5 要求獲得すごろく

設計者が、システムのユースケース（ミスユースケースを含む）を検討するための資料とする目的で、ステークホルダに、グループディスカッションでコンセンサスが得られた要求に関して、図8に示す要求獲得すごろくと呼ぶシートに構造化された要求として記載させることを試行した。

前述の評価実験において、要求獲得すごろくを記載させたところ、被験者が、これを単独で記述することが難しいことが判明した。目的・要求・手段に関しての記述は可能であるが、前提・制約部分、特に反例に関

¹現在、3コママンガストーリーボードを電子化ツールとして実装・評価中である

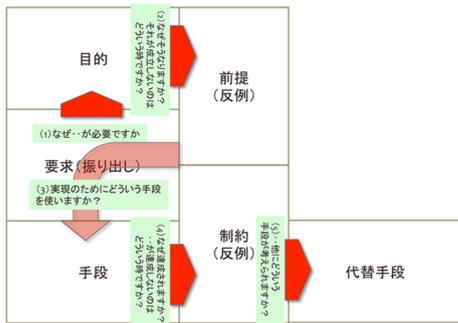


図 8: マンガストーリーボードツール

しての記載が、被験者単独でできない。このため、要求獲得すぐろくの記述を支援するためのナビゲーション方法を検討した。

5.1 否定の問いによるナビゲーション

要求獲得すぐろくの記載の支援のために、ステークホルダと設計者が共同で、要求⇒目的、手段⇒要求の(演繹的)推論が成立しない要件(反例)を、インタラクティブに抽出することを試行した。

図9に記載するように、手段⇒要求をあるルールで説明する(要求⇒ゴールも同様)演繹的な推論として捉え、左記ルールが成立しない要件(反例)を、機械的に生成し(将来的にはツールが)、ステークホルダに段階的に問うことで、推論の前提や制約になる要件を、ステップバイステップで抽出していこうとするものである。ルールの反例を機械的に生成するには、要求、ルールを形式的に記述する必要がある。この記述手法として、ユースケースの形式記述に使用される Rolland 手法 [11] をベースとして設計した。

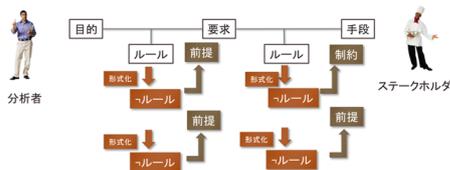


図 9: 否定の問いによるナビゲーション

ナビゲーションの一例を図10に示す。

- 「耐久性の高いカーマフラーを実現する」を要求 A とし、手段 B 「カーマフラーをステンレス製とする」とすると次の示すような手段⇒要求 (B ⇒ A) の関係が成り立つ。この推論が成立するには、「ステンレスは、腐食に強い」というルール R 1 が必要である。
- ツールは、ルール R 1 の否定「ステンレスが腐食に強くない」(¬R 1) が発生する制約を問う。この問いにより、ステンレス製であっても、砂漠のような悪環境を走行する場合、砂によりマフラーが傷つけられる

ことで、耐久性が損なわれることがあると気づく。即ち、 $B \Rightarrow A$ は、実は正しくは、 $B \wedge C \Rightarrow A$ であり、制約 C の下での推論であったということに気付く。ここで、C は「砂により傷つかない」という制約である。

- 制約を満足するには、ステンレスでは不十分であり、手段として「カーマフラーをセラミックとする」というような代替案 (B') が検討される(深堀り)。
- ツールは、代替案 B' により、D 「カーマフラーを耐久性を高くする」⇒ E 「車を永年使用する」という要求⇒目的 (D ⇒ E) の関係が成り立つかどうかを吟味させる。追加された制約により、要求⇒目的のルール (R 2 「腐食に強くすることで耐久性を高くする」) を見直す必要がある場合には、 $D \wedge F \Rightarrow E$ であり、前提 F の下での推論であったことに気付く。ここで、F は、「傷に強い」という前提であり、これを新たな視点として、「柔よく剛を制する強化ゴムでマフラーを作る」というような代替案 B'' が生まれる。

このように、ルールを否定する問いを機械的に設計者とステークホルダに投げかけることにより、要求⇒目的、手段⇒要求の演繹的な推論が成立しない要件(すなわち前提・制約)をインタラクティブに抽出することが可能になる。この繰返しによって、深さ(設計の具体化)と広さ(新視点への気づき)に強い設計を得ることを意図するものである。

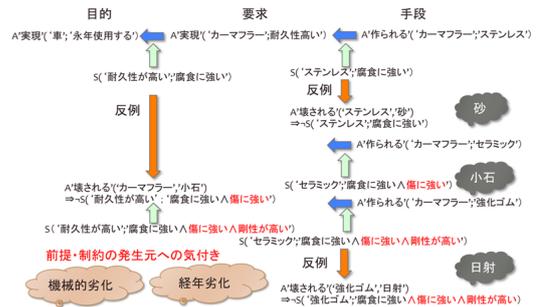


図 10: 否定を問うことによる前提・制約の抽出支援の例

5.2 評価

前述のナビゲーションを用い要求獲得すぐろくの記載の支援を行った。実験は、設計者が、ツールになりかわり、機械的に否定的問いを生成し、これをステークホルダに提示する Paper Prototyping [14] の方法で行った。「リコメンドシステムを価値あるものとする」で作成された要求獲得すぐろくを用い、ツールから発せられる問いに従って、これをブラッシュアップする作業を行わせた。評価試験は、設計者+個人: 2 ケース、設計者+2名グループでの試験: 1 ケースの2形態で行った。評価試験の結果をそれぞれ図 11, 図 12, 図 13 に示す。個人で実施した場合と、2名のグループで実施した場合で、前提・制約への気づきの面では、大きな差異は観察されなかった。問いによるナビゲーション

が強く、グループで実施したとしても、相互にディスカッションを行うことが難しかったことによる影響が想定される。

一方で、図 11, 図 12, 図 13 の結果を見ると、ルールを否定する問いにより、前提・制約条件がインタラクティブに抽出されること、ルールの成立が行き詰まった場合に、新たな視点への気づきが促進されることが確認された。この繰返しにより、種々の前提・制約を踏まえた、設計の深さ（設計の具体化）と設計の広さ（新視点への気づき）の両面で効果がある要求獲得ができる可能性が示唆された。



図 11: 要求獲得すごろくの成長過程 1

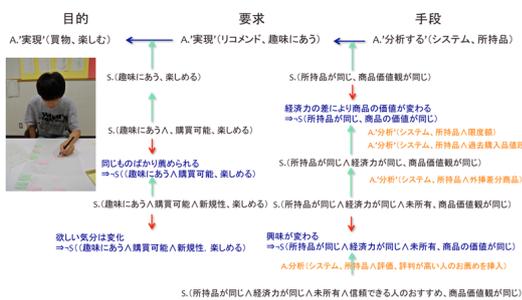


図 12: 要求獲得すごろくの成長過程 2



図 13: 要求獲得すごろくの成長過程 3

6 まとめ

マンガストーリーボード、要求獲得すごろくと呼ぶ2つの手法を追加した要求獲得手法を試行した。マンガストーリーボードは、インタビュー開始のきっかけとして有効であること、マンガに基づきインタビューを開始することで、課題・ゴールを、具体化できることが確認された。さらに、要求獲得すごろくは、前提・制約をインタラクティブに抽出することが可能であること、また、この繰返しにより、設計の深さ（設計の具体化）とともに広さ（新視点への気づき）の両面に効果がある要求獲得ができる可能性が示された。今後は、研究室レベルでの手法・評価の精緻化、ツールの電子化を進めていくとともに、CPSの実設計に適用し、評価を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 経済産業省：組込みシステム産業の施策立案に向けた実態把握のための調査研究，(2009)
- [2] K.Southwell et al.: Requirements Definition and Design, The STARTER Guide 2nd Edition,(1987)
- [3] J.M.Carrol:Making Use: Scenario-based design of Human-computer interactions, MIT press, (2000)
- [4] P.Locoupoulos and V.Karakostas: System Requirements Engineering, McGraw-Hill, (1995)
- [5] C.Corbridge et al.: Laddering Technique and tool use in knowledge acquisition, Knowledge Acquisition, Vol.6, pp.315-341, (1994)
- [6] 杉山尚子: 行動分析学入門, 集英社新書, (2005)
- [7] 久代 紀之、大澤 幸生: 多次元ヒアリングと階層的シナリオ成長プロセスによる要求獲得手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47 No.10 pp.2909-2916,(2006)
- [8] 久代紀之、大澤幸生: 服属アーキテクチャの転用モデルに基づく質問プロセスによるコンセプト形成手法, 情報処理学会論文誌, Vol.49 No.3 pp.1320-1329,(2008)
- [9] 久代 紀之、大澤 幸生: チャンス発見プロセスを用いた要求獲得手法、設計工学, Vol.44.No.10, pp.33-40,(2009)
- [10] P.Clements and Linda Northrop: Software Product Line: Practices and Patterns, Addison-Wesley Professional;3rd edition, (2001)
- [11] C.Rolland and C.B. Achour: Guiding the Construction of Textual Use Case Specifications. Data Knowl. Eng. 25(1-2), pp.125-160, (1998)
- [12] T.Seelig:スタンフォード 白熱教室 DVDBook, NHK, (2011)
- [13] T.Kelley and J.Litman:発想する会社ー世界最高のデザイン・ファーム IDEO に学ぶイノベーションの技法, 早川書房, (2002)
- [14] C.Snyder: Paper Prototyping: The first and Easy way to Design and Refine User Interfaces(Interactive Technologies) , Morgan Kaufmann,(2003)