

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6175637号
(P6175637)

(45) 発行日 平成29年8月9日(2017.8.9)

(24) 登録日 平成29年7月21日(2017.7.21)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 F 17/50 (2006.01)

G 0 6 F 17/50 6 6 6 T

請求項の数 9 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2012-211579 (P2012-211579)	(73) 特許権者	514315159
(22) 出願日	平成24年9月25日 (2012.9.25)		株式会社ソシオネクスト
(65) 公開番号	特開2014-67196 (P2014-67196A)		神奈川県横浜市港北区新横浜2丁目10番
(43) 公開日	平成26年4月17日 (2014.4.17)		23
審査請求日	平成27年5月26日 (2015.5.26)	(74) 代理人	100104190
			弁理士 酒井 昭徳
		(72) 発明者	佐々木 貴行
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
			1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	古手川 博久
			神奈川県横浜市港北区新横浜2丁目10番
			23 富士通セミコンダクター株式会社内
		(72) 発明者	蓮實 直信
			神奈川県横浜市港北区新横浜2丁目10番
			23 富士通セミコンダクター株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力見積支援プログラム、電力見積支援装置および電力見積支援方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータに、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となってから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回

数を求めるトグルレート推定関数を作成する、

処理を実行させることを特徴とする電力見積支援プログラム。

【請求項2】

前記コンピュータに、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の1変化あたりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量と前記割合とから前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成する処理を実行させることを特徴とする請求項1に記載の電力見積支援プログラム。

【請求項3】

前記コンピュータに、

10

20

作成した前記トグルレート推定関数を前記部分回路と関連付けて出力する処理を実行させることを特徴とする請求項 1 に記載の電力見積支援プログラム。

【請求項 4】

前記コンピュータに、

作成した前記電力推定関数を前記部分回路と関連付けて出力する処理を実行させることを特徴とする請求項 2 に記載の電力見積支援プログラム。

【請求項 5】

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となってから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表す計測結果を取得する取得部と、

前記取得部によって取得された前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する作成部と、
を有することを特徴とする電力見積支援装置。

【請求項 6】

コンピュータが、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となってから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する、

処理を実行することを特徴とする電力見積支援方法。

【請求項 7】

コンピュータに、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となってから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成し、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の 1 変化当たりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量から前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成する、

処理を実行させることを特徴とする電力見積支援プログラム。

【請求項 8】

前記電力推定関数を作成する処理は、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の 1 変化当たりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量と前記割合とから前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成することを特徴とする請求項 7 に記載の電力見積支援プログラム。

【請求項 9】

コンピュータが、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当

10

20

30

40

50

たりの信号の変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となつてから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成し、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の1変化あたりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量から前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成する、

処理を実行することを特徴とする電力見積支援方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力見積支援プログラム、電力見積支援装置および電力見積支援方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ESL(Electronic System Level)で回路の電力を見積もりたいという要望がある。ESLは、RTL(Register Transfer Level)よりも抽象度が高い上位の概念である。ESLでは、例えば、機能ブロックとメモリとバスとが定義され、機能ブロック間や機能ブロック/メモリ間のデータの流れなどが記述される。

20

【0003】

関連する先行技術としては、例えば、大規模な回路に対して電力の消費傾向を解析するものがある。具体的には、例えば、電力見積装置は、各回路範囲における単位時間当たりの信号の変化回数の平均値を取得して、回路範囲ごとの電力係数を算出し、または、単位時間当たりの信号の変化回数の平均値が1の場合の回路範囲ごとの電力係数を算出する。つぎに、電力見積装置は、回路範囲において指定された観測ポイントの信号の単位時間当たりの変化回数の平均値に対する、回路範囲に含まれる各信号線の信号の単位時間当たりの変化回数の平均値の比を補正係数として算出する。そして、電力見積装置は、回路範囲ごとの補正係数と電力係数をもとに、回路範囲ごとの電力値を算出する。

30

【0004】

また、半導体集積回路の消費電力解析の時間を短縮するための技術がある。具体的には、例えば、消費電力解析装置は、設計回路情報を解析し、動作モードが共通の回路ブロックにおいて動作モードを規定する測定対象回路と、その特徴情報とを抽出する。つぎに、消費電力解析装置は、グループ分けポリシーに基づいて、抽出された測定対象回路をグループ分けする。そして、消費電力解析装置は、グループ分けされた測定グループごとに動作回数を測定し、測定結果に基づいて各測定対象回路の動作率を算出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献1】特開2012-104091号公報

【特許文献2】特開2009-053747号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来技術では、ESLで回路の電力を見積もることが難しいという問題がある。例えば、回路の電力を見積もる際のプリミティブな電力モデルとなるのは、ゲートレベルのセルをモデル化したものとなる。ESLでは、例えば、機能ブロック間や機能ブロック/メモリ間のデータの流れなどが記述される程度であり、ゲートとのリレーショ

50

ンをとることが難しい。

【 0 0 0 7 】

一つの側面では、本発明は、回路の電力見積を支援することができる電力見積支援プログラム、電力見積支援装置および電力見積支援方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本発明の一側面によれば、回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を記憶部から読み出し、前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する電力見積支援プログラム、電力見積支援装置および電力見積支援方法が提案される。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様によれば、回路の電力見積を支援することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】図 1 は、実施の形態にかかる電力見積支援方法の一実施例を示す説明図である。

【図 2】図 2 は、電力見積支援装置 1 0 1 のハードウェア構成例を示すブロック図である

20

。【図 3 A】図 3 A は、計測結果データの具体例を示す説明図（その 1）である。

【図 3 B】図 3 B は、計測結果データの具体例を示す説明図（その 2）である。

【図 4】図 4 は、電力見積支援装置 1 0 1 の機能的構成例を示すブロック図である。

【図 5】図 5 は、平均トグルレートの計測結果と推定結果とを表す説明図である。

【図 6】図 6 は、電力の計測結果と推定結果とを表す説明図である。

【図 7】図 7 は、電力見積支援装置 1 0 1 の電力見積支援処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図 8】図 8 は、クロックツリー部の一例を示す説明図である。

【図 9】図 9 は、非クロックツリー部の一例を示す説明図である。

30

【図 1 0】図 1 0 は、ブロック A の動作状況を示すガントチャートである。

【図 1 1】図 1 1 は、ブロック A の状態データを示す説明図である。

【図 1 2】図 1 2 は、エミュレーション電力見積のシミュレーション結果を示す説明図（その 1）である。

【図 1 3】図 1 3 は、エミュレーション電力見積のシミュレーション結果を示す説明図（その 2）である。

【図 1 4】図 1 4 は、非クロックツリーのトグルレートと流量との相関を示す説明図（その 1）である。

【図 1 5】図 1 5 は、非クロックツリーのトグルレートと流量との相関を示す説明図（その 2）である。

40

【図 1 6】図 1 6 は、R A M / R O M の電力と流量との相関を示す説明図（その 1）である。

【図 1 7】図 1 7 は、R A M / R O M の電力と流量との相関を示す説明図（その 2）である。

【図 1 8】図 1 8 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 1）である。

【図 1 9】図 1 9 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 2）である。

【図 2 0】図 2 0 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 1）である。

50

【図 2 1】図 2 1 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 2）である。

【図 2 2】図 2 2 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 3）である。

【図 2 3】図 2 3 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 4）である。

【図 2 4】図 2 4 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 5）である。

【図 2 5】図 2 5 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 3）である。

10

【図 2 6】図 2 6 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 4）である。

【図 2 7】図 2 7 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 5）である。

【図 2 8】図 2 8 は、マルチファンクションの一例を示す説明図である。

【図 2 9】図 2 9 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 1）である。

【図 3 0】図 3 0 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 2）である。

【図 3 1】図 3 1 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 3）である。

20

【図 3 2】図 3 2 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 4）である。

【図 3 3】図 3 3 は、流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

【図 3 4】図 3 4 は、流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

【図 3 5】図 3 5 は、流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

【図 3 6】図 3 6 は、流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

30

【図 3 7】図 3 7 は、R u n 状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

【図 3 8】図 3 8 は、R u n 状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

【図 3 9】図 3 9 は、R u n 状態における流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

【図 4 0】図 4 0 は、R u n 状態における流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

【図 4 1】図 4 1 は、R u n 状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

40

【図 4 2】図 4 2 は、R u n 状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

【図 4 3】図 4 3 は、R u n 状態における流量による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。

【図 4 4】図 4 4 は、R u n 状態における流量による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。

【図 4 5 A】図 4 5 A は、電力見積支援装置 1 0 1 の記述例を示す説明図（その 1）である。

【図 4 5 B】図 4 5 B は、電力見積支援装置 1 0 1 の記述例を示す説明図（その 2）であ

50

る。

【図４５Ｃ】図４５Ｃは、電力見積支援装置１０１の記述例を示す説明図（その３）である。

【図４６】図４６は、見積対象ブロックＮの一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下に添付図面を参照して、本発明にかかる電力見積支援プログラム、電力見積支援装置および電力見積支援方法の実施の形態を詳細に説明する。

【００１２】

（電力見積支援方法の一実施例）

図１は、実施の形態にかかる電力見積支援方法の一実施例を示す説明図である。図１において、電力見積支援装置１０１は、回路の消費電力の見積もりを支援するコンピュータである。消費電力の見積対象となる回路は、例えば、ＬＳＩ（Large Scale Integrated circuit）などの半導体集積回路である。

【００１３】

ここで、回路の消費電力を見積もる際のプリミティブな電力モデルとなるのは、例えば、ゲートレベルのセルをモデル化したものとなる。ＲＴＬの設計データは論理合成することによりゲートレベルの設計データに落とし込むことができる。このため、ＲＴＬの設計データから回路の消費電力を見積もることは比較的容易に行うことができる。

【００１４】

これに対して、ＲＴＬよりも抽象度が高いＥＳＬの設計データでは、例えば、機能ブロック間や機能ブロック／メモリ間のデータの流れなどが記述されている程度であり、ゲートとのリレーションをとることが難しい。また、ＥＳＬの設計データからＲＴＬの設計データに落とし込むことが難しい場合がある。

【００１５】

そこで、本実施の形態では、電力見積支援装置１０１は、回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量（バス流量）と部分回路のトグルレートに相関があると仮定し、部分回路へのバス流量からトグルレートを推定するモデル式を作成する。これにより、部分回路へのバス流量程度の情報しか得られないＥＳＬでの電力見積を可能にする。以下、電力見積支援装置１０１の電力見積支援処理の一実施例について説明する。

【００１６】

（１）電力見積支援装置１０１は、ある回路の消費電力を見積もる電力見積シミュレーションの計測結果を取得する。ここで、計測結果は、例えば、回路内の部分回路について、シミュレーション中に所定の期間単位で計測されたバス流量とトグルレートとを対応付けて表す情報である。

【００１７】

また、部分回路は、例えば、複数のセルと信号線を含む回路ブロックである。セルは、例えば、ＮＯＴゲート、ＡＮＤゲート、バッファ、ＩＮＶ（インバータ）、ＦＦ（フリップフロップ）などの回路素子である。具体的には、例えば、部分回路は、ＬＳＩなどの半導体集積回路を形成するための部分的な回路情報として利用されるＩＰ（Intellectual Property）であり、機能ブロック単位で再利用可能な形でまとめた設計資産である。

【００１８】

また、バス流量は、単位時間当たりの回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量である。バス流量の単位は、例えば、[byte/sec]であってもよく、[bit/sec]であってもよい。また、回路内のバス幅が固定の場合は、サイクル数/secをバス流量の単位として用いることにしてもよい。また、シミュレーション中のある期間のデータ量を取得する場合で期間が固定であれば、この期間を単位時間とみなして単にデータ量を流量と同一視する場合もある。この場合、バス流量の単位は、[byte]であっても[bit]であってもサイクル数であってもよい。なお、以下の説明では、バ

10

20

30

40

50

ス流量を単に「流量」と表記する場合がある。

【 0 0 1 9 】

また、トグルレートは、部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数を表すものである。具体的には、例えば、トグルレートは、部分回路内の各セルのトグルレートの平均値（平均トグルレート）、すなわち、各セルにおける単位時間当たりの信号の変化回数の平均値を表すものであってもよい。

【 0 0 2 0 】

図 1 の例では、回路内の部分回路 X について、シミュレーション中の期間（例えば、期間 T 1 ）ごとに計測された、バス流量（例えば、バス流量 x 1 ）とトグルレート（例えば、トグルレート y 1 ）とを対応付けて表す計測結果 1 1 0 が取得されている。

10

【 0 0 2 1 】

（ 2 ）電力見積支援装置 1 0 1 は、取得した計測結果に基づいて、部分回路のバス流量から部分回路のトグルレートを求めるトグルレート推定関数を作成する。具体的には、例えば、電力見積支援装置 1 0 1 は、計測結果 1 1 0 に基づいて、バス流量を独立変数とし、トグルレートを従属変数として回帰分析を行うことにより、バス流量からトグルレートを求めるトグルレート推定関数を作成する。

【 0 0 2 2 】

ここで、セルの電力係数 P C は、下記式（ 1 ）を用いて表現することができる。電力係数 P C は、例えば、信号の 1 変化あたりに消費されるセルの電力を表すものである。ただし、C は、セルの静電容量 [p F] である。V は、セルの電圧 [V] である。

20

【 0 0 2 3 】

$$P C = (1 / 2) * C * V ^ 2 \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

【 0 0 2 4 】

また、n 個のセルを含む回路の電力は、例えば、下記式（ 2 ）を用いて表現することができる。ただし、P C_m は、n 個のセルの m 番目のセルの電力係数 P C である。T R_m は、n 個のセルの m 番目のセルのトグルレート T R [t o g g l e / n s] である。

【 0 0 2 5 】

【 数 1 】

$$Power = \sum_{m=1}^n P C_m * T R_m \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

30

【 0 0 2 6 】

また、セルの電力係数 P C のばらつきが小さいと仮定すると、n 個のセルを含む回路の電力は、例えば、下記式（ 3 ）を用いて表現することができる。

【 0 0 2 7 】

【 数 2 】

40

$$Power = (n * \overline{P C}) * \overline{T R} \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

ただし、 $\overline{P C}$ は、セルの電力係数である。

$\overline{T R}$ は、セルの平均トグルレートである。

【 0 0 2 8 】

また、バス流量と平均トグルレートとの間に強い相関があると仮定すると、部分回路（

50

IP)の平均トグルレートは、例えば、下記式(4)を用いて表現することができる。

【0029】

【数3】

$$\overline{TR} = \text{Coeff}_x * \text{Trans} + \text{Coeff}_c \quad \dots (4)$$

ただし、 \overline{TR} は、部分回路内のセルの平均トグルレートである。

Transは、部分回路のバス流量である。

$\text{Coeff}_x, \text{Coeff}_c$ は係数である。

10

【0030】

すなわち、電力見積支援装置101は、計測結果110から特定される期間ごとのバス流量とトグルレート(平均トグルレート)とを上記式(4)に代入して回帰分析を行うことにより、部分回路Xのトグルレート推定関数を作成することができる。より具体的には、例えば、電力見積支援装置101は、最小二乗法により、上記式(4)の係数 $\text{Coeff}_x, \text{Coeff}_c$ を求めることにより、部分回路Xのトグルレート推定関数を作成する。

【0031】

(3)電力見積支援装置101は、作成したトグルレート推定関数を部分回路と関連付けて出力する。具体的には、例えば、電力見積支援装置101は、作成した部分回路Xのトグルレート推定関数を、部分回路Xの識別情報(例えば、部分回路XのIP名)と関連付けてライブラリ120に登録することにしてもよい。

20

【0032】

このように、電力見積支援装置101によれば、部分回路へのバス流量とトグルレートに相関があると仮定して、バス流量から部分回路のトグルレートを推定するトグルレート推定関数(モデル式)を作成することができる。これにより、消費電力の見積対象となる回路内部の詳細は決まっていなくとも、既存IPと同一品種の部分回路(例えば、既存IPと同一の機能を実現する部分回路)のトグルレートをバス流量から推定することができる。

【0033】

また、電力見積支援装置101によれば、例えば、部分回路へのバス流量から推定されるトグルレートを上記式(3)に代入することにより、部分回路の電力を求めることができ、ESLでの電力見積を行うことができるようになる。なお、部分回路の電力係数(セルの電力係数の平均値にセル数nを掛けた値、すなわち、セルの電力係数の合計値)としては、例えば、既存技術により得られる部分回路と同一品種の既存IPの電力係数を用いることができる。

30

【0034】

また、電力見積支援装置101によれば、部分回路の識別情報(例えば、IP名)と関連付けてトグルレート推定関数をライブラリ120に登録することができる。これにより、バス流量から部分回路のトグルレートを推定するモデル式を電力ライブラリとして提供することができる。

40

【0035】

(電力見積支援装置101のハードウェア構成例)

図2は、電力見積支援装置101のハードウェア構成例を示すブロック図である。図2において、電力見積支援装置101は、CPU(Central Processing Unit)201と、ROM(Read Only Memory)202と、RAM(Random Access Memory)203と、磁気ディスクドライブ204と、磁気ディスク205と、光ディスクドライブ206と、光ディスク207と、I/F(Interface)208と、ディスプレイ209と、キーボード210と、マウス211とを有している。また、各構成部はバス200によってそれぞれ接続されている。

50

【 0 0 3 6 】

ここで、CPU 201は、電力見積支援装置101の全体の制御を司る。ROM 202は、ブートプログラムなどのプログラムを記憶している。RAM 203は、CPU 201のワークエリアとして使用される。磁気ディスクドライブ204は、CPU 201の制御にしたがって磁気ディスク205に対するデータのリード/ライトを制御する。磁気ディスク205は、磁気ディスクドライブ204の制御で書き込まれたデータを記憶する。

【 0 0 3 7 】

光ディスクドライブ206は、CPU 201の制御にしたがって光ディスク207に対するデータのリード/ライトを制御する。光ディスク207は、光ディスクドライブ206の制御で書き込まれたデータを記憶したり、光ディスク207に記憶されたデータをコンピュータに読み取らせたりする。

10

【 0 0 3 8 】

I/F 208は、通信回線を通じてLAN (Local Area Network)、WAN (Wide Area Network)、インターネットなどのネットワーク212に接続され、ネットワーク212を介して他の装置に接続される。そして、I/F 208は、ネットワーク212と内部のインターフェースを司り、外部装置からのデータの入出力を制御する。I/F 208には、例えば、モデムやLANアダプタなどを採用することができる。

【 0 0 3 9 】

ディスプレイ209は、カーソル、アイコンあるいはツールボックスをはじめ、文書、画像、機能情報などのデータを表示する。このディスプレイ209は、例えば、CRT、TFT液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイなどを採用することができる。

20

【 0 0 4 0 】

キーボード210は、文字、数字、各種指示などの入力のためのキーを備え、データの入力を行う。また、タッチパネル式の入力パッドやテンキーなどであってもよい。マウス211は、カーソルの移動や範囲選択、あるいはウィンドウの移動やサイズの変更などを行う。なお、電力見積支援装置101は、上述した構成部のうち、例えば、光ディスクドライブ206、光ディスク207、ディスプレイ209、キーボード210およびマウス211を有さないことにしてもよい。

【 0 0 4 1 】

(計測結果データの具体例)

つぎに、ある部分回路IPを含む回路の消費電力を見積もる電力見積シミュレーションの計測結果データの具体例について説明する。

30

【 0 0 4 2 】

図3Aおよび図3Bは、計測結果データの具体例を示す説明図である。図3Aおよび図3Bにおいて、計測結果データ300は、回路内の部分回路IPについて、シミュレーション中に所定の期間 (Interval) 単位で計測された、流量と実行率と平均トグルレートと電力とを対応付けて表す計測結果300-1~300-38を含む情報である。

【 0 0 4 3 】

ここで、流量は、シミュレーション中の所定の期間単位 (例えば、1サイクル) に計測された回路内のバスを介して部分回路IPに入出力されたデータ量である。実行率は、所定の期間において部分回路IPが、例えば、回路内のプロセッサから要求された処理を実行可能となってから処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合である。平均トグルレートは、部分回路IP内の各セルにおける単位時間当たりの信号の変化回数の平均値である。電力は、所定の期間に部分回路IPで消費される電力の見積結果である。

40

【 0 0 4 4 】

なお、計測結果データ300は、例えば、図1に示した計測結果110に対応する。具体的には、計測結果データ300の流量は、計測結果110のバス流量に対応し、計測結果データ300の平均トグルレートは、計測結果110のトグルレートに対応している。

【 0 0 4 5 】

50

(電力見積支援装置 101 の機能的構成例)

図 4 は、電力見積支援装置 101 の機能的構成例を示すブロック図である。図 4 において、電力見積支援装置 101 は、取得部 401 と、作成部 402 と、算出部 403 と、出力部 404 と、を含む。取得部 401 ~ 出力部 404 は制御部となる機能であり、具体的には、例えば、図 2 に示した ROM 202、RAM 203、磁気ディスク 205、光ディスク 207 などの記憶装置に記憶されたプログラムを CPU 201 に実行させることにより、または、I/F 208 により、その機能を実現する。各機能部の処理結果は、例えば、RAM 203、磁気ディスク 205、光ディスク 207 などの記憶装置に記憶される。

【0046】

取得部 401 は、部分回路 IP を含む回路の消費電力を見積もるシミュレーションの計測結果データを取得する機能を有する。具体的には、例えば、取得部 401 は、図 2 に示したキーボード 210 やマウス 211 を用いたユーザの操作入力により、入力された計測結果データ 300 (図 3 参照) を RAM 203 等の記憶装置から読み出すことにしてもよい。

【0047】

また、取得部 401 は、例えば、回路の消費電力を見積もる電力見積シミュレーションを行うことにより、計測結果データ 300 を取得することにしてもよい。なお、電力見積支援装置 101 は、例えば、部分回路 IP を含む回路のゲートレベルの設計データ (例えば、ネットリスト) に基づいて、電力見積シミュレーションを実行することができる。

【0048】

作成部 402 は、取得された計測結果データに基づいて、部分回路 IP の流量を独立変数とし、部分回路 IP の平均トグルレートを従属変数として回帰分析を行うことにより、流量から平均トグルレートを求めるトグルレート推定関数を作成する機能を有する。

【0049】

具体的には、例えば、まず、作成部 402 は、上記式 (4) を回帰式に設定する。つぎに、作成部 402 は、例えば、計測結果データ 300 に基づいて、最小二乗法により、独立変数の測定値と、従属変数の測定値および回帰式を用いて求めた独立変数の推定値との差の 2 乗平均が最小になるように、係数 $Coeff_x$ 、 $Coeff_c$ を求める。これにより、流量から平均トグルレートを求めるトグルレート推定関数を作成することができる。

【0050】

また、作成部 402 は、計測結果データに基づいて、部分回路 IP の流量と実行率とを独立変数とし、部分回路 IP の平均トグルレートを従属変数として重回帰分析を行うことにより、流量から平均トグルレートを求めるトグルレート推定関数を作成してもよい。実行率は、シミュレーション中の所定の期間において部分回路 IP が、プロセッサから要求された処理を実行可能となってから処理の実行が完了するまでの状態 (実行状態) である期間の割合である。

【0051】

具体的には、例えば、まず、作成部 402 は、下記式 (5) を回帰式に設定する。ただし、 $RunRatic$ は、部分回路 IP の実行率である。また、 $Coeff_y$ は、係数である。

【0052】

【数 4】

$$\overline{TR} = Coeff_x * Trans + Coeff_y * RunRatic + Coeff_c \quad \cdots (5)$$

【0053】

つぎに、作成部 402 は、例えば、計測結果データ 300 に基づいて、最小二乗法により、独立変数の測定値と、従属変数の測定値および回帰式を用いて求めた独立変数の推定値との差の 2 乗平均が最小になるように、係数 $Coeff_x$ 、 $Coeff_y$ 、 $Coeff_c$ を求める。これにより、流量と実行率から平均トグルレートを求めるトグルレート推定関数

10

20

30

40

50

を作成することができる。

【 0 0 5 4 】

より具体的には、例えば、作成部 4 0 2 は、計測結果データ 3 0 0 に基づいて、部分回路 I P の流量と実行率を独立変数とし、部分回路 I P の平均トグルレートを従属変数として重回帰分析を行うことにより、下記式 (6) のトグルレート推定関数を作成することができる。

【 0 0 5 5 】

【 数 5 】

$$\overline{TR} = 8.8 + 55.4 * Trans - 0.13 * RunRatic \quad \dots (6)$$

10

【 0 0 5 6 】

また、作成部 4 0 2 は、作成した部分回路 I P のトグルレート推定関数と、信号の 1 変化当たりに消費される部分回路 I P の電力値とを用いて、部分回路 I P の電力 (消費電力) を求める電力推定関数を作成する機能を有する。

【 0 0 5 7 】

例えば、トグルレート推定関数が、部分回路 I P の流量のみをパラメータとする関数の場合は、作成部 4 0 2 は、流量から部分回路 I P の電力を求める電力推定関数を作成する。また、トグルレート推定関数が、部分回路 I P の流量と実行率とをパラメータとする関数の場合は、作成部 4 0 2 は、流量と実行率とから部分回路 I P の電力を求める電力推定関数を作成する。

20

【 0 0 5 8 】

ここで、信号の 1 変化当たりに消費される部分回路 I P の電力値は、部分回路 I P 内のセル数 n とセルの電力係数 PC の平均値とを掛け合わせた値、すなわち、部分回路 I P 内の全セルの電力係数の合計値である (ただし、セルの電力係数 PC のばらつきが小さいと仮定する。) 。以下説明のため、信号の 1 変化当たりに消費される部分回路 I P の電力値を「電力値 ($n * PC$) 」と表記する場合がある。

【 0 0 5 9 】

なお、電力見積支援装置 1 0 1 は、例えば、既存の電力見積ツールを用いて、1 トグルレート時の部分回路 I P の電力を見積もることにより、部分回路 I P の電力値 ($n * PC$) を得ることができる。また、電力見積支援装置 1 0 1 は、例えば、計測結果データ 3 0 0 に基づいて、部分回路 I P の電力の平均値を平均トグルレートの平均値で除算することにより、部分回路 I P の電力値 ($n * PC$) を求めることにしてもよい。

30

【 0 0 6 0 】

具体的には、例えば、作成部 4 0 2 は、作成した部分回路 I P のトグルレート推定関数と部分回路 I P の電力値 ($n * PC$) とを上記式 (3) に代入することにより、流量から部分回路 I P の電力を求める電力推定関数を作成する。これにより、部分回路 I P の流量から部分回路 I P の電力を求める電力推定関数を作成することができる。

【 0 0 6 1 】

より具体的には、例えば、作成部 4 0 2 は、上記式 (6) のトグルレート推定関数と部分回路 I P の電力値 ($n * PC$) とを上記式 (3) に代入することにより、下記式 (7) の電力推定関数を作成することができる。ただし、部分回路 I P の電力値 ($n * PC$) を「 1 0 . 4 」とする。

40

【 0 0 6 2 】

【 数 6 】

$$Power = 10.4 * (8.8 + 55.4 * Trans - 0.13 * RunRatic) \quad \dots (7)$$

【 0 0 6 3 】

算出部 4 0 3 は、作成された部分回路 I P の電力推定関数を用いて、電力見積対象とな

50

る回路内の部分回路 I P の見積消費電力を算出する機能を有する。例えば、電力推定関数が、部分回路 I P の流量のみをパラメータとする関数の場合を想定する。この場合、算出部 4 0 3 は、回路内のバスを介して部分回路 I P に入出力されるデータ量（流量）を電力推定関数に代入することにより、部分回路 I P の見積消費電力を算出する。

【 0 0 6 4 】

また、電力推定関数が、部分回路 I P の流量と実行率とをパラメータとする関数の場合を想定する。この場合、算出部 4 0 3 は、所定期間における回路内のバスを介して部分回路 I P に入出力されるデータ量と部分回路 I P の実行率とを電力推定関数に代入することにより、所定期間における部分回路 I P の見積消費電力を算出する。

【 0 0 6 5 】

なお、電力推定関数に代入される回路内のバスを介して部分回路 I P に入出力されるデータ量や部分回路 I P の実行率は、例えば、ユーザの操作入力により、電力見積支援装置 1 0 1 に直接入力されることにしてもよい。また、電力見積支援装置 1 0 1 は、電力見積対象となるアーキテクチャシミュレーションモデルのシミュレーションを行うことにより、部分回路 I P にバスを介して入出力されるデータ量や部分回路 I P の実行率を取得することにしてもよい。

【 0 0 6 6 】

出力部 4 0 4 は、作成されたトグルレート推定関数を部分回路 I P と関連付けて出力する機能を有する。具体的には、例えば、出力部 4 0 4 は、部分回路 I P のトグルレート推定関数を、部分回路 I P の I P 名と関連付けてライブラリ 1 2 0（図 1 参照）に登録することにしてもよい。なお、ライブラリ 1 2 0 は、例えば、R A M 2 0 3、磁気ディスク 2 0 5、光ディスク 2 0 7 などの記憶装置により実現される。

【 0 0 6 7 】

これにより、バス流量や実行率から部分回路 I P のトグルレートを推定するモデル式（トグルレート推定関数）を電力ライブラリとして提供することができる。

【 0 0 6 8 】

また、出力部 4 0 4 は、作成された電力推定関数を部分回路 I P と関連付けて出力することにしてもよい。具体的には、例えば、出力部 4 0 4 は、部分回路 I P の電力推定関数を、部分回路 I P の I P 名と関連付けてライブラリ 1 2 0 に登録することにしてもよい。

【 0 0 6 9 】

これにより、バス流量や実行率から部分回路 I P の電力を推定するモデル式（電力推定関数）を電力ライブラリとして提供することができる。

【 0 0 7 0 】

また、出力部 4 0 4 は、算出された部分回路 I P の見積消費電力を出力することにしてもよい。出力部 4 0 4 の出力形式としては、例えば、R A M 2 0 3、磁気ディスク 2 0 5、光ディスク 2 0 7 などの記憶領域への記憶、ディスプレイ 2 0 9 への表示、不図示のプリンタへの印刷出力、I / F 2 0 8 による外部装置への送信などがある。

【 0 0 7 1 】

また、算出部 4 0 3 は、例えば、電力見積対象となる回路内の部分回路 I P ごとに見積消費電力を累積することにより、電力見積対象となる回路の見積消費電力を算出することにしてもよい。この場合、出力部 4 0 4 は、算出された電力見積対象となる回路の見積消費電力を出力することにしてもよい。

【 0 0 7 2 】

（平均トグルレートの推定例）

つぎに、作成部 4 0 2 によって作成されたトグルレート推定関数を用いて推定される部分回路 I P の平均トグルレートの推定例について説明する。

【 0 0 7 3 】

図 5 は、平均トグルレートの計測結果と推定結果とを表す説明図である。図 5 において、グラフ 5 0 1 は、計測結果データ 3 0 0 の流量と実行率とを上記式（ 6 ）に代入することにより推定された部分回路 I P の平均トグルレートの時系列変化を表している。また、

10

20

30

40

50

グラフ 5 0 2 は、計測結果データ 3 0 0 の平均トグルレートの時系列変化を表している。

【 0 0 7 4 】

グラフ 5 0 1 , 5 0 2 によれば、部分回路 I P の平均トグルレートの計測結果と推定結果とが同じような時系列変化をしていることが分かる。

【 0 0 7 5 】

(電力の推定例)

つぎに、作成部 4 0 2 によって作成された電力推定関数を用いて推定される部分回路 I P の電力の推定例について説明する。

【 0 0 7 6 】

図 6 は、電力の計測結果と推定結果とを表す説明図である。図 6 において、グラフ 6 0 1 は、計測結果データ 3 0 0 の流量と実行率とを上記式 (7) に代入することにより推定された部分回路 I P の電力の時系列変化を表している。また、グラフ 6 0 2 は、計測結果データ 3 0 0 の電力の時系列変化を表している。

【 0 0 7 7 】

グラフ 6 0 1 , 6 0 2 によれば、部分回路 I P の電力 (消費電力) の計測結果と推定結果とが同じような時系列変化をしていることが分かる。

【 0 0 7 8 】

(電力見積支援装置 1 0 1 の電力見積支援処理手順)

つぎに、電力見積支援装置 1 0 1 の電力見積支援処理手順について説明する。

【 0 0 7 9 】

図 7 は、電力見積支援装置 1 0 1 の電力見積支援処理手順の一例を示すフローチャートである。図 7 のフローチャートにおいて、まず、電力見積支援装置 1 0 1 は、部分回路 I P を含む回路の消費電力を見積もるシミュレーションの計測結果データを取得したか否かを判断する (ステップ S 7 0 1) 。計測結果データは、例えば、図 3 に示した計測結果データ 3 0 0 である。

【 0 0 8 0 】

ここで、電力見積支援装置 1 0 1 は、計測結果データを取得するのを待つ (ステップ S 7 0 1 : N o) 。そして、電力見積支援装置 1 0 1 は、計測結果データを取得した場合 (ステップ S 7 0 1 : Y e s) 、部分回路 I P の平均トグルレートを表す従属変数を独立変数で計算する回帰式を設定する (ステップ S 7 0 2) 。

【 0 0 8 1 】

回帰式は、例えば、上記式 (4) や上記式 (5) などである。回帰式は、例えば、R O M 2 0 2 等の記憶装置に記憶されている。また、設定される回帰式は予め決められていてもよく、ステップ S 7 0 2 において、電力見積支援装置 1 0 1 が、ユーザの操作入力により、設定される回帰式の選択を受け付けることにしてもよい。

【 0 0 8 2 】

つぎに、電力見積支援装置 1 0 1 は、取得した計測結果データに基づいて、最小二乗法により、設定した回帰式に含まれる係数の値を算出する (ステップ S 7 0 3) 。そして、電力見積支援装置 1 0 1 は、算出した係数の値を回帰式に代入することにより、部分回路 I P のトグルレート推定関数を作成する (ステップ S 7 0 4) 。

【 0 0 8 3 】

つぎに、電力見積支援装置 1 0 1 は、取得した計測結果データに基づいて、1 トグルレート時の部分回路 I P の電力値を算出する (ステップ S 7 0 5) 。そして、電力見積支援装置 1 0 1 は、作成した部分回路 I P のトグルレート推定関数と 1 トグルレート時の部分回路 I P の電力値とを上記式 (3) に代入することにより、部分回路 I P の電力推定関数を作成する (ステップ S 7 0 6) 。

【 0 0 8 4 】

つぎに、電力見積支援装置 1 0 1 は、作成した部分回路 I P のトグルレート推定関数と電力推定関数とを、部分回路 I P の I P 名と関連付けてライブラリ 1 2 0 に登録して (ステップ S 7 0 7) 、本フローチャートによる一連の処理を終了する。

【 0 0 8 5 】

以上説明したように、実施の形態にかかる電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P へのバス流量とトグルレートに相関があると仮定して、バス流量から部分回路 I P のトグルレートを推定するトグルレート推定関数を作成することができる。具体的には、例えば、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P を含む回路の電力見積シミュレーションの計測結果データに基づいて、上記式 (4) を用いた回帰分析を行うことにより、トグルレート推定関数を作成することができる。

【 0 0 8 6 】

また、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P へのバス流量および実行率とトグルレートとに相関があると仮定して、バス流量および実行率から部分回路 I P のトグルレートを推定するトグルレート推定関数を作成することができる。具体的には、例えば、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P を含む回路の電力見積シミュレーションの計測結果データに基づいて、上記式 (5) を用いた回帰分析を行うことにより、トグルレート推定関数を作成することができる。

10

【 0 0 8 7 】

これにより、消費電力の見積対象となる回路内部の詳細は決まっていなくとも、既存 I P と同一品種の部分回路 I P のトグルレートを、バス流量や実行率から推定することができる。

【 0 0 8 8 】

また、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P のトグルレート推定関数と、1 平均トグルレート当たりの部分回路 I P の電力値とを用いて、部分回路 I P の電力を推定する電力推定関数を作成することができる。これにより、消費電力の見積対象となる回路内部の詳細は決まっていなくとも、既存 I P と同一品種の部分回路 I P の電力を、バス流量や実行率から推定することができる。

20

【 0 0 8 9 】

また、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P の識別情報 (例えば、I P 名) と関連付けてトグルレート推定関数をライブラリ 1 2 0 に登録することができる。これにより、バス流量や実行率から部分回路 I P のトグルレートを推定するモデル式を電力ライブラリとして提供することができる。また、ステップ 7 0 7 を利用時に行うとし、ステップ 7 0 7 の計算に必要なデータをライブラリに記載するとしてもよい。このようにすると 1 トグル当たりの電力値を利用時に補正をかけたのち、ステップ 7 0 7 を実行して電力推定関数を利用することが可能になる。このようにすることで電力ライブラリ作成時のテクノロジーライブラリと電力見積時のテクノロジーライブラリの相違を考慮した電力見積が可能となる。

30

【 0 0 9 0 】

また、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、部分回路 I P の識別情報 (例えば、I P 名) と関連付けて電力推定関数をライブラリ 1 2 0 に登録することができる。これにより、バス流量や実行率から部分回路 I P の電力を推定するモデル式を電力ライブラリとして提供することができる。

【 0 0 9 1 】

なお、上述した説明では、部分回路 I P の実行状態が一つの場合について説明したが、これに限らない。例えば、部分回路 I P の実行状態が複数存在する場合、電力見積支援装置 1 0 1 は、各々の実行状態について所定の期間単位の実行率を取得し、各々の実行率を独立変数とする回帰分析を行うことにより、トグルレート推定関数を作成することにしてもよい。また、実行状態ごとのバス流量を独立変数にするとしてもよい。

40

【 0 0 9 2 】

(実施例)

以下、実施例について説明する。まず、電力要素の分類について説明する。本実施例では、F F クロック部、クロックツリー部、非クロックツリー部および R A M / R O M 部の 4 つの属性 (電力要素) で回路を分割して電力見積を行う場合を想定する。

50

【0093】

FFクロック部は、クロックツリーに含まれるFF（FFのクロック端子）の集合である。クロックツリー部は、クロックソースから辿ることができる出力端子を有する非FFのセルの集合である。なお、非FFとは、FFではないセルである。非クロックツリー部は、クロックツリーに含まれないセルの集合である。RAM/ROM部は、クロックツリーに接続されたRAMまたはROMである。

【0094】

FFクロック部とクロックツリー部は、ユニットセルを対象としたクロックツリー関連の電力消費傾向に関係する電力要素である。FFは、クロックツリーの葉部分にクロックツリーの非FF要素の15倍程度の個数があり、CGIC（クロックゲーティングインテグレイティッドセル）によりよく止まるものもあれば、CGICがなくよく動くものもあり、設計によっても変化する可能性がある。

10

【0095】

一方、クロックツリーは、ツリー構造になっており、葉の近くにCGICがあることが多い。また、幹の部分は、FF数よりもレイアウトマターで複雑さが決まる。これらのことから、FFクロック部とクロックツリー部は電力消費傾向が違う可能性がある。そこで、本実施例では、FFクロック部とクロックツリー部とを分けて扱う。

【0096】

非クロックツリー部は、第1の非クロックツリーと、第2の非クロックツリーと、第3の非クロックツリーとに分けられる。第1の非クロックツリーは、クロックツリーに接続されたFFの集合である。第2の非クロックツリーは、クロックツリーに非接続のFFの集合である。第3の非クロックツリーは、クロックツリーに非接続の非FFの集合である。本実施例では、これら第1、第2および第3の非クロックツリーを一つのグループ（非クロックツリー部）として扱う。

20

【0097】

RAM/ROM部については、まず、ユニットセル1セルとRAM/ROM1マクロとを比較すると1個当たりの消費電力の差が大きい。また、RAMの内外でクロックを止めることにより節電を行う場合が多く、RAMの制御に失敗すると節電効果のロスが大きくなる。また、回路内のRAM/ROMの個数は1000個程度と推測でき、ユニットセル（例えば、260万個）と比較すると少数である。これらのことから、本実施例では、RAM/ROMを1つのグループ（RAM/ROM部）として扱う。

30

【0098】

（電力係数の抽象化）

つぎに、FFクロック部、クロックツリー部、非クロックツリー部およびRAM/ROM部の4つの属性（電力要素）で回路を分割した場合の電力係数の抽象化について説明する。なお、以下の説明では、「部分回路IP」を単に「IP」と表記する場合がある。また、プロセッサから要求された処理を実行可能となってから処理の実行が完了するまでのIPの状態を「Run状態」と表記し、Run状態以外のIPの状態を「Idle状態」と表記する場合がある。

【0099】

図8は、クロックツリー部の一例を示す説明図である。図8において、ブロック800内部のクロックツリー部の一例が示されている。図8の例では、部分クロックツリーA、部分クロックツリーB、部分クロックツリーでグルーピングされたグルーピング部の3個の部分回路がある。なお、部分クロックツリーは、クロックツリーのうちトグルレートが同じであることが保証されているセル群を含む部分である。

40

【0100】

グルーピングして見積もった結果はクロックツリーについては3個に分けたことに等しい。さらに、部分クロックツリーAは、常時ONのため、固定消費分（グラフ化すれば切片に含まれる要因）である。部分クロックツリーBは、手置きCGICで制御されているものの、手置きCGICがブロック全体の制御をしていると考え、IPがRun/I

50

d l e のどちらの状態かで制御する程度で、大きな粒度での制御であると考えられる。

【 0 1 0 1 】

したがって、R u n 状態のみをみた時には、部分クロックツリー B は、固定消費分になる。グルーピング部は、自動挿入 C G I C による制御で、この部分は回路の動作に依存する部分である。しかし、グルーピングしても電力見積上、問題があまりない。したがって、I d l e 状態は別途見積って、R u n 状態の電力モデルを作るとすると、部分クロックツリー A、部分クロックツリー B、グルーピング部を分ける必要はないという考え方でもできる。

【 0 1 0 2 】

同様に、F F については、まず、部分クロックツリー A につながる F F は、クロックツリー A のトグルレートと同じである。また、部分クロックツリー B につながる F F は、クロックツリー B のトグルレートと同じである。また、自動置き C G I C により制御される F F は、グルーピング部の平均トグルレートをいれればよいといえる。

10

【 0 1 0 3 】

したがって、クロックツリー部分と同様のことがいえて、部分クロックツリー A につながる F F のクロック成分は固定消費的であり、部分クロックツリー B につながるクロック部分は R u n 状態において固定消費的であると考えられる。また、グルーピングされた部分は、回路の動作に依存する部分であると考えられる。このため、グルーピングによってある程度の精度が出ていれば、クロックツリー、F F クロックに対して、ブロックに対して一つの電力係数にしてもよいと考えられる。

20

【 0 1 0 4 】

すなわち、自動置き C G I C がドライブする部分は、バス流量と相関がある可能性がある部分であり、手置き C G I C 部分は通例 C P U (プロセッサ) からの設定値により O N / O F F が決まる部分であり、I P の状態値に依存すると考えられる部分である。C G I C がない部分は固定的に電力を消費する固定値部分 (切片部分) に相当する。つぎに、非クロックツリー部について説明する。

【 0 1 0 5 】

図 9 は、非クロックツリー部の一例を示す説明図である。図 9 において、非クロックツリー部 9 0 0 は、入力データの有無によって回路が動けるかどうかが決まる。非クロックツリー部 9 0 0 では、ループ回数などによりデータ取得間隔が伸び縮みするが、電力または性能が最も厳しくなる条件での測定を行うことが多い。

30

【 0 1 0 6 】

このような厳しい条件下ではスループット、レイテンシともに一定値に近づくと仮定すると、バス流量と計算量は比例関係にあり、計算量とトグルレートは比例関係にあることから、バス流量とトグルレートは比例関係になると推測できる。

【 0 1 0 7 】

なお、I P の電力値は、ループ回数などにより変化することがある。このため、例えば、動画処理の I P であれば、I P の電力値に対して「N 番目の標準画像の実測値をベースにした電力値である」といった記述が付記されることにしてもよい。

【 0 1 0 8 】

40

また、R A M / R O M は、1 個のインスタンスに含まれる個数が少なく、アクセス回数が回路部分の動作に依存する回路である。このため、回路に記述されたようにアクセスすることが期待できることを考慮すると、R A M / R O M 成分として一まとめにしてもある程度の見積精度がでると期待できる。

【 0 1 0 9 】

(I P の状態を考慮した電力モデリング)

ここで、I P の状態 (R u n 状態、I d l e 状態) を考慮した電力モデリングについて説明する。以下、1 つのブロックを題材に説明する。このブロックを「ブロック A」と仮称する。なお、ここでは、エミュレーション電力見積のシミュレーション期間中の I P への s t a r t a s s e r t ~ I P からの d o n e a s s e r t までの期間を R u n 状

50

態とし、それ以外の期間を I d l e 状態とする。

【 0 1 1 0 】

図 1 0 は、ブロック A の動作状況を示すガントチャートである。図 1 0 において、ガントチャート 1 0 0 0 は、シミュレーション時刻の経過とともに変化するブロック A の動作状況 (R u n 状態、 I d l e 状態) を示している。なお、横軸は、シミュレーション時刻である。

【 0 1 1 1 】

図 1 1 は、ブロック A の状態データを示す説明図である。図 1 1 において、状態データ 1 1 0 0 は、図 1 0 に示したガントチャート 1 0 0 0 に対応するブロック A の詳細な動作状況を示している。状態データ 1 1 0 0 によれば、ブロック A の動作状況は、ほぼ 2 8 1 [m s] 以降はずっと R u n 状態であるといえる。

10

【 0 1 1 2 】

図 1 2 および図 1 3 は、エミュレーション電力見積のシミュレーション結果を示す説明図である。図 1 2 において、グラフ 1 2 0 0 は、シミュレーション時刻の経過とともに変化するクロックツリー部、 F F クロック部および R A M / R O M 部の電力を示している。また、図 1 3 において、グラフ 1 3 0 0 は、シミュレーション時刻の経過とともに変化する非クロックツリー部の F F 入力端子のトグル回数を示している。

【 0 1 1 3 】

例えば、ガントチャート 1 0 0 0 によれば、 2 8 1 [m s] ~ 2 . 5 [s] までは、ほぼ 1 0 0 [%] R u n 状態となっている。これに対して、グラフ 1 2 0 0 によれば、クロックツリー部、 F F クロック部および R A M / R O M 部の電力の著しい増減が、無視できないほど長い時間で起きている。また、グラフ 1 3 0 0 によれば、非クロックツリー部のトグル回数の著しい増減が、無視できないほど長い時間で起きている。すなわち、 R u n / I d l e 状態のみを考慮した電力モデリングでは、高精度な電力見積は難しい。

20

【 0 1 1 4 】

(流量を考慮した電力モデリング)

つぎに、流量 (バス流量) を考慮した電力モデリングについて説明する。 I P の流量と I P の計算量との間は比例関係にあり、 I P の計算量と I P の電力との間は比例関係にあると仮定すると、 I P の流量とトグルレートとの間は比例関係にあると推測できる。以下、図 1 4 ~ 図 2 1 を用いて、流量を考慮した電力モデリングの実験結果について説明する。

30

【 0 1 1 5 】

図 1 4 は、非クロックツリーのトグルレートと流量との相関を示す説明図 (その 1) である。図 1 4 において、グラフ 1 4 0 0 は、 F F 入力データ端子のトグル回数と流量との時系列変化を表している。

【 0 1 1 6 】

図 1 5 は、非クロックツリーのトグルレートと流量との相関を示す説明図 (その 2) である。図 1 5 において、図 1 4 に示したグラフ 1 4 0 0 の各サンプルの F F 入力データ端子のトグル回数と流量の散布図 1 5 0 0 が示されている。散布図 1 5 0 0 の決定係数は「 0 . 9 8 」であり、十分な相関が観測されているといえる。

40

【 0 1 1 7 】

なお、決定係数とは、独立変数 (説明変数) が従属変数 (被説明変数) のどれくらいを説明できるかを表す指標である。決定係数は、例えば、標本値から求めた回帰方程式のあてはまりのよさの尺度として利用される。決定係数は、例えば、 x の変数の変化と y の変数の変化とがどれくらい似通っているかを表す (x 、 y は、例えば、流量) 。

【 0 1 1 8 】

図 1 6 は、 R A M / R O M の電力と流量との相関を示す説明図 (その 1) である。図 1 6 において、グラフ 1 6 0 0 は、 R A M / R O M の電力と流量との時系列変化を表している。

【 0 1 1 9 】

50

図 17 は、RAM / ROM の電力と流量との相関を示す説明図 (その 2) である。図 17 において、図 16 に示したグラフ 1600 の各サンプルの電力と流量の散布図 1700 が示されている。散布図 1700 の決定係数は「0.91」であり、十分な相関が観測されているといえる。

【0120】

図 18 は、FF クロックの電力と流量との相関を示す説明図 (その 1) である。図 18 において、グラフ 1800 は、FF のクロック端子成分の電力と流量との時系列変化を表している。

【0121】

図 19 は、FF クロックの電力と流量との相関を示す説明図 (その 2) である。図 19 において、図 18 に示したグラフ 1800 の各サンプルの FF クロック端子成分の電力と流量の散布図 1900 が示されている。散布図 1900 の決定係数は「0.18」であり、相関が観測されていないといえる。

10

【0122】

図 20 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図 (その 1) である。図 20 において、グラフ 2000 は、クロックツリーの電力と流量との時系列変化を表している。

【0123】

図 21 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図 (その 2) である。図 21 において、図 20 に示したグラフ 2000 の各サンプルのクロックツリーの電力と流量の散布図 2100 が示されている。散布図 2100 の決定係数は「0.51」であり、十分な相関は観測されていないといえる。

20

【0124】

このように、非クロックツリー部と RAM / ROM 部については流量と相関があるといえるが、クロックツリー部と FF クロック部については何らかの改善策が必要であるといえる。すなわち、流量のみを考慮した電力モデリングでは、高精度な電力見積は難しい。

【0125】

(流量および IP の状態を考慮した電力モデリング)

つぎに、流量および IP の状態を考慮した電力モデリングについて説明する。流量を考慮した電力モデリングによれば、クロック系と非クロック系と RAM とで傾向が分かっている。RAM はクロック系であるが、チップイネーブル信号により、RAM のクロックゲーティングが大きな粒度で行えるため、相関が強い可能性がある。

30

【0126】

クロック系も自動挿入 CGIC の部分は相関があると想定することができる。RAM / ROM と非クロックツリーは、計算量と電力量の相関が強く、Idle 状態も Run 状態で計算量が極めて小さい時も同じような傾向を示すが、クロックツリー、FF クロックは Idle 状態と Run 状態で計算量が極めて小さい時であっても異なる傾向を示すことがある。

【0127】

すなわち、クロックツリー、FF クロックには IP の制御要因による電力消費分があり、この電力消費分は、流量からは測れないために電力があっていないと想定することができる。そこで、以下の説明では、図 22 ~ 図 27 を用いて、「Idle 状態と Run 状態をもち、Run 状態には流量と相関がある」というモデル化を行った場合の実験結果について説明する。

40

【0128】

図 22 は、FF クロックの電力と流量との相関を示す説明図 (その 3) である。図 22 において、グラフ 2200 は、RUN 状態のみの FF クロック端子成分の電力値と流量の時系列変化を表している。なお、0 [ms] ~ 300 [ms] 付近は、Idle 状態のため対象外となっている。

【0129】

50

図 2 3 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 4）である。図 2 3 において、図 2 2 に示したグラフ 2 2 0 0 の各サンプルの F F クロック端子成分の電力値と流量の散布図 2 3 0 0 が示されている。散布図 2 3 0 0 の決定係数は「0.75」であり、図 1 9 に示した実験結果と比べて大幅な改善がみられる。

【0130】

図 2 4 は、F F クロックの電力と流量との相関を示す説明図（その 5）である。図 2 4 において、グラフ 2 4 0 0 は、図 2 3 に示した例で回帰分析により得られた式を用いて、流量から推定した電力の予測値と実際の電力値（図 2 4 中、F F C L K）の時系列変化を表している。グラフ 2 4 0 0 によれば、電力の予測値と実際の電力値とが合っていることがわかる。

10

【0131】

図 2 5 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 3）である。図 2 5 において、グラフ 2 5 0 0 は、R U N 状態のみのクロックツリーの電力値と流量の時系列変化を表している。なお、0 [ms] ~ 300 [ms] 付近は、I d l e 状態のため対象外となっている。

【0132】

図 2 6 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 4）である。図 2 6 において、図 2 5 に示したグラフ 2 5 0 0 の各サンプルのクロックツリーの電力値と流量の散布図 2 6 0 0 が示されている。散布図 2 6 0 0 の決定係数は「0.74」であり、図 2 1 に示した実験結果と比べて大幅な改善がみられる。

20

【0133】

図 2 7 は、クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図（その 5）である。図 2 7 において、グラフ 2 7 0 0 は、図 2 6 に示した例で回帰分析により得られた式を用いて、流量から推定した電力の予測値と実際の電力値（図 2 7 中、クロックツリー）の時系列変化を表している。グラフ 2 7 0 0 によれば、電力の予測値と実際の電力値とが合っていることがわかる。

【0134】

このように、F F クロックとクロックツリーに関しては、R u n 状態を考慮することにより、決定係数が大幅に上がっており、電力見積の精度を改善することができることがわかる。

30

【0135】

また、図 2 4 や図 2 7 に示すように、波形の形もよく似ている。これは回路構造に依存していると考えられる。例えば、図 8 に示した回路があったとすると、I d l e 状態では、手置き C G I C が止まり、部分クロックツリー B が完全に止まっているものと考えられる。

【0136】

R u n 状態では、手置き C G I C が O N になっていて、部分クロックツリー B の部分が常時動作しているように見えるため、固定消費分が増大する。一方、自動置き C G I C は、計算に必要な時にしか O N にならない。したがって、計算量と何らかの依存関係があると考えられる。すなわち、I P の計算量とトグルレートとの間に比例関係が成り立つといえる。

40

【0137】

なお、I P の状態を R u n / I d l e で分類して決定係数が上がった理由は、R u n / I d l e と強い相関性をもつ手挿入 C G I C があったためだと推測できる。したがって、広範囲のクロックツリーを止めうる C G I C と相関性が出る I P の状態を洗い出して定義し、その状態ごとに回帰分析を行うことが望ましい。また、図 2 8 に示すように、複数のメジャーなコンポーネントが存在する場合が考えられる。

【0138】

図 2 8 は、マルチファンクションの一例を示す説明図である。図 2 8 において、例えば、サブブロック A とサブブロック B との電力差が大きく、共通サブブロック部分の電力が

50

小さければ、信号がサブブロック A を通るか、サブブロック B を通るかが重要になってくる。

【 0 1 3 9 】

この場合には、例えば、設定レジスタの値も状態としてもっておくことが望ましい。バスアクセス部分は共通のため、流量と非クロックツリー部分の電力も大きく異なることになる。FFクロック、クロック部分についても影響は出る。一方、サブブロック A とサブブロック B との電力差が小さく、共通サブブロック部分の電力が大きく、マルチパス部分が小さければ対応する必要はない。

【 0 1 4 0 】

すなわち、電力モデリングにおいては、広範囲に影響を及ぼす手挿入CGIC（ただし、PowerProなどを使って同等の効果が得られることを期待する設計も含む）と相関があるパラメータは考慮することが望ましい。そして、手挿入CGICと相関があるパラメータを考慮することにより、回帰分析による電力モデル作成の安全度が高まると言える。

【 0 1 4 1 】

（流量と待ち時間を考慮した電力モデリング）

つぎに、流量と待ち時間を考慮した電力モデリングについて説明する。上述した流量を考慮した電力モデリングで説明した例題のクロックツリーの電力とFFクロックの電力をみると、計算量が減るはずのところが増えており、切片として表されるような固定量と流量と負の相関を持っているような変化をしている。

【 0 1 4 2 】

これは、何らかの無駄に電力を消費するような事象が起きていると考えられる。また、流量を考慮した電力モデリングの決定係数がある程度よい値であることを考えると、バスに起因した事象が起きていると推測できる。そこで、バスの利用権を欲しているのに待たされた時間はマイナス的な要因であると仮定して、バスの流量に加えて待ち時間を電力モデリングの要素に加えた場合について説明する。

【 0 1 4 3 】

待ち時間とは、バスの利用権を欲しているのに待たされた時間、すなわち、アービターにリクエストを投げてから、バスの利用が許可されるまでの累積時間である。実験では、待ち時間データがあるサンプルと電力があるサンプルとでは、データ取得条件が、前者は1[m s]程度でサンプリングしており、後者は6[m s]程度でサンプリングしており、開始時間にもずれがあることが分かった。

【 0 1 4 4 】

そこで、本実験では、待ち時間データのほうに合わせて、サンプリングポイントの時刻が含まれる電力値を後者のデータから取って1つのデータにまとめたものを実験用のデータ（以下、「サンプルデータ2」という）とする。また、待ち時間は、ポートごとに発生する。

【 0 1 4 5 】

以下、図29～図32を用いて、サンプルデータ2で流量のみで重回帰分析した例について説明する。なお、サンプルデータ2では、リードポート2個、ライトポート1個のトランザクションの履歴がある。

【 0 1 4 6 】

図29は、サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図（その1）である。図29において、グラフ2900は、クロックツリーの電力に関する、本データセットにおける流量からの予測値と観測値との時系列変化を表している。

【 0 1 4 7 】

図30は、サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図（その2）である。図30において、クロックツリーの電力に関する、本データセットにおける流量からの予測値と観測値の散布図3000が示されている。散布図3000の決定係数は「0.47」であり、図21の決定係数「0.51」と同等であることがわかる。

【 0 1 4 8 】

図 3 1 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 3）である。図 3 1 において、グラフ 3 1 0 0 は、F F クロック端子成分の電力に関する、本データセットにおける流量からの予測値と観測値との時系列変化を表している。

【 0 1 4 9 】

図 3 2 は、サンプルデータ 2 でのクロックツリーの相関を示す説明図（その 4）である。図 3 2 において、F F クロック端子成分の電力に関する、本データセットにおける流量からの予測値と観測値の散布図 3 2 0 0 が示されている。散布図 3 2 0 0 の決定係数は「0.15」であり、図 1 9 の決定係数「0.18」と同等であることがわかる。

【 0 1 5 0 】

これらのことから、時間粒度が違うデータセットにおいても同等の精度が得られており、ポート数が多くなった要因は考慮しなくてもよいことが分かる。したがって、サンプルデータ 2 は（流量および I P の状態を考慮した電力モデリング）までで用いたデータと同程度の品質があるといえる。そこで、待ち時間を用いた回帰分析実験においてはサンプルデータ 2 を使うことにする。

【 0 1 5 1 】

（流量と待ち時間とを用いた回帰分析結果）

つぎに、図 3 3 ~ 図 3 6 を用いて、流量と待ち時間とを用いた回帰分析結果について説明する。

【 0 1 5 2 】

図 3 3 は、流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 3 3 において、グラフ 3 3 0 0 は、流量と待ち時間によるクロックツリーの電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

【 0 1 5 3 】

図 3 4 は、流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 3 4 において、図 3 3 に示したグラフ 3 3 0 0 の予測値と観測値の散布図 3 4 0 0 が示されている。散布図 3 4 0 0 の決定係数は「0.97」であり、十分な相関が観測されているといえる。

【 0 1 5 4 】

図 3 5 は、流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 3 5 において、グラフ 3 5 0 0 は、流量と待ち時間による F F クロック端子成分の電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

【 0 1 5 5 】

図 3 6 は、流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 3 6 において、図 3 5 に示したグラフ 3 5 0 0 の予測値と観測値の散布図 3 6 0 0 が示されている。散布図 3 6 0 0 の決定係数は「0.89」であり、十分な相関が観測されているといえる。

【 0 1 5 6 】

このように、流量と待ち時間とを考慮することにより、状態を考慮しなくても決定係数的には十分な相関が見受けられる。しかし、図 3 3 に示したグラフ 3 3 0 0 や図 3 5 に示したグラフ 3 5 0 0 から分かるように振幅が大きく、誤差がみられる。

【 0 1 5 7 】

（流量と待ち時間と状態とを用いた回帰分析結果）

つぎに、図 3 7 ~ 図 4 0 を用いて、流量と待ち時間と状態とを用いた回帰分析結果について説明する。

【 0 1 5 8 】

図 3 7 は、R u n 状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 3 7 において、グラフ 3 7 0 0 は、R u n 状態のみに着目した流量と待ち時間によるクロックツリーの電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 9 】

図 3 8 は、R u n 状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 3 8 において、図 3 7 に示したグラフ 3 7 0 0 の予測値と観測値の散布図 3 8 0 0 が示されている。散布図 3 8 0 0 の決定係数は「 0 . 7 6 」であり、相関が観測されているといえる。また、図 3 4 に比べて決定係数が小さくなっているが、図 3 3 のグラフ 3 3 0 0 と図 3 7 のグラフ 3 7 0 0 によれば、振幅が小さく誤差が小さくなっていることがわかる。

【 0 1 6 0 】

図 3 9 は、R u n 状態における流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 3 9 において、グラフ 3 9 0 0 は、R u n 状態のみに着目した流量と待ち時間による F F クロック端子成分の電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

10

【 0 1 6 1 】

図 4 0 は、R u n 状態における流量と待ち時間による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 4 0 において、図 3 9 に示したグラフ 3 9 0 0 の予測値と観測値の散布図 4 0 0 0 が示されている。散布図 4 0 0 0 の決定係数は「 0 . 7 7 」であり、相関が観測されているといえる。また、図 3 6 に比べて決定係数が小さくなっているが、図 3 5 のグラフ 3 5 0 0 と図 3 9 のグラフ 3 9 0 0 によれば、振幅が小さく誤差が小さいことがわかる。

【 0 1 6 2 】

20

このように、流量と待ち時間に合わせて状態を考慮することにより、見積誤差を抑えることができる。

【 0 1 6 3 】

（流量と状態とを用いた回帰分析結果）

つぎに、図 4 1 ~ 図 4 4 を用いて、R u n 状態における流量を用いた回帰分析結果についても、流量および I P の状態を考慮した電力モデリングまでで用いたデータの代わりに使った分析結果を説明する。

【 0 1 6 4 】

図 4 1 は、R u n 状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 4 1 において、グラフ 4 1 0 0 は、R u n 状態のみに着目した流量によるクロックツリーの電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

30

【 0 1 6 5 】

図 4 2 は、R u n 状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 4 2 において、図 4 1 に示したグラフ 4 1 0 0 の予測値と観測値の散布図 4 2 0 0 が示されている。散布図 4 2 0 0 の決定係数は「 0 . 7 4 」であり、図 3 8 に示した例と同等に、相関が観測されているといえる。

【 0 1 6 6 】

図 4 3 は、R u n 状態における流量による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 1）である。図 4 3 において、グラフ 4 3 0 0 は、R u n 状態のみに着目した流量による F F クロック端子成分の電力の予測値と観測値との時系列変化を表している。

40

【 0 1 6 7 】

図 4 4 は、R u n 状態における流量による F F クロック電力見積の相関を示す説明図（その 2）である。図 4 4 において、図 4 3 に示したグラフ 4 3 0 0 の予測値と観測値の散布図 4 4 0 0 が示されている。散布図 4 4 0 0 の決定係数は「 0 . 7 5 」であり、図 4 0 に示した例と同等に、相関が観測されているといえる。

【 0 1 6 8 】

（電力見積支援装置 1 0 1 の記述例）

図 4 5 A、図 4 5 B および図 4 5 C は、電力見積支援装置 1 0 1 の記述例を示す説明図である。図 4 5 A、図 4 5 B および図 4 5 C に示す記述例 4 5 0 0 によれば、電力見積に用いたトグルレート値とバス情報、I P 状態履歴を使って、電力を見積もった区間の中に

50

含まれる各状態の占有率を求めることができる。

【 0 1 6 9 】

また、記述例 4 5 0 0 によれば、各状態の算出式 * 占有率の和で回帰分析を行って推定式を出力することができる。なお、カウンタは、I P 状態数 * パラメータ数個用意して、状態 A パラメータ a のカウンタ値を出力する。更に、状態の期間 / 単位時間も合わせて出力する。

【 0 1 7 0 】

(見積対象ブロック N の一例)

つぎに、見積対象ブロック N の一例について説明する。ここでは、クロックツリー部と非クロックツリー部と R A M / R O M 部との回路範囲に分類した見積対象ブロック N (部分回路 I P) について説明する。

【 0 1 7 1 】

図 4 6 は、見積対象ブロック N の一例を示す説明図である。図 4 6 において、見積対象ブロック N が、クロックツリー部と非クロックツリー部と R A M / R O M 部との回路範囲に分類されている。この場合、流量 (T r a n s) と状態 (S t a t e) が回帰分析で使用されるパラメータ (独立変数) とすると、見積対象ブロック N の電力を見積もるために観測すべき値は、見積対象ブロック N に対する流量 (T r a n s) と状態 (S t a t e) となる。

【 0 1 7 2 】

流量 (T r a n s) と状態 (S t a t e) のパラメータをそれぞれ X_{NTrans} , X_{NState} とすると、見積対象ブロック N の電力推定関数は、例えば、下記式 (8) となる。なお、 X_{NTrans} , X_{NState} の単位は、回帰分析を行ったときと同じ単位である。

【 0 1 7 3 】

【 数 7 】

$Power_{N_{Category}}$

$$= \frac{\left(Coeff_{N_{Category} Trans} * X_{NTrans} + Coeff_{N_{Category} State} * X_{NState} \right)}{Interval} * TotalPC_{Category} \quad \dots (8)$$

s.t. Category = NCT, CT, FFCLK, RAM

【 0 1 7 4 】

以上説明したように、電力見積支援装置 1 0 1 によれば、例えば、クロックツリー部、F F クロック部、非クロックツリー部、R A M / R O M 部ごとの電力ライブラリを提供することができる。例えば、部分回路 I P をクロックツリー部と非クロックツリー部と R A M / R O M 部との回路範囲に分類した場合、電力見積支援装置 1 0 1 は、各々の回路範囲の計測結果データを取得して、各々の回路範囲のトグルレート推定関数を作成することができる。

【 0 1 7 5 】

また、電力見積支援装置 1 0 1 は、各々の回路範囲のトグルレート推定関数と各々の回路範囲の電力値 (n * P C) を用いて、各々の回路範囲の電力推定関数を作成することができる。これにより、クロックツリー部、非クロックツリー部および R A M / R O M 部といったカテゴリー別の消費電力を見積もることができる。

【 0 1 7 6 】

なお、本実施の形態で説明した電力見積支援方法は、予め用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することにより実現することができる。本電力見積支援プログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、C D - R O M、M O、D V D 等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され

、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。また、本電力見積支援プログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布してもよい。

【0177】

また、本実施の形態で説明した電力見積支援装置101は、スタンダードセルやストラクチャードASIC (Application Specific Integrated Circuit) などの特定用途向けIC (以下、単に「ASIC」と称す。) やFPGAなどのPLD (Programmable Logic Device) によっても実現することができる。具体的には、例えば、上述した電力見積支援装置101の機能 (取得部401～出力部404) をHDL記述によって機能定義し、そのHDL記述を論理合成してASICやPLDに与えることにより、電力見積支援装置101を製造することができる。

10

【0178】

上述した実施の形態に関し、さらに以下の付記を開示する。

【0179】

(付記1) コンピュータに、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する、

20

処理を実行させることを特徴とする電力見積支援プログラム。

【0180】

(付記2) 前記コンピュータに、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の1変化当たりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量から前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成する処理を実行させることを特徴とする付記1に記載の電力見積支援プログラム。

【0181】

(付記3) 前記計測結果は、前記データ量と前記変化回数と対応付けて、前記所定の期間において前記部分回路が要求された処理を実行可能となってから前記処理の実行が完了するまでの状態である期間の割合を表し、

30

前記トグルレート推定関数を作成する処理は、

前記計測結果に基づいて、前記データ量と前記割合とを独立変数とし、前記変化回数を従属変数として重回帰分析を行うことにより、前記データ量と前記割合とから前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成することを特徴とする付記2に記載の電力見積支援プログラム。

【0182】

(付記4) 前記電力推定関数を作成する処理は、

作成した前記トグルレート推定関数と、前記信号の1変化当たりに消費される前記部分回路の電力値とを用いて、前記データ量と前記割合とから前記部分回路の電力を求める電力推定関数を作成することを特徴とする付記2または3に記載の電力見積支援プログラム。

40

【0183】

(付記5) 前記コンピュータに、

作成した前記トグルレート推定関数を前記部分回路と関連付けて出力する処理を実行させることを特徴とする付記2～4のいずれか一つに記載の電力見積支援プログラム。

【0184】

(付記6) 前記コンピュータに、

作成した前記電力推定関数を前記部分回路と関連付けて出力する処理を実行させることを特徴とする付記2～5のいずれか一つに記載の電力見積支援プログラム。

50

【 0 1 8 5 】

(付記 7) コンピュータに、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する、

処理を実行させる電力見積支援プログラムを記録したことを特徴とする前記コンピュータに読取可能な記録媒体。

10

【 0 1 8 6 】

(付記 8) 回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を取得する取得部と、

前記取得部によって取得された前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する作成部と、

を有することを特徴とする電力見積支援装置。

【 0 1 8 7 】

(付記 9) 回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を取得する取得部と、

前記取得部によって取得された前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する作成部と、

を有するコンピュータを含むことを特徴とする電力見積支援装置。

20

【 0 1 8 8 】

(付記 1 0) コンピュータが、

回路の消費電力を見積もるシミュレーションにより所定の期間単位に計測された前記回路内のバスを介して部分回路に入出力されるデータ量と前記部分回路における単位時間当たりの信号の変化回数とを対応付けて表す計測結果を記憶部から読み出し、

前記計測結果に基づいて、前記データ量を独立変数とし、前記変化回数を従属変数として回帰分析を行うことにより、前記データ量から前記変化回数を求めるトグルレート推定関数を作成する、

処理を実行することを特徴とする電力見積支援方法。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 8 9 】

1 0 1 電力見積支援装置

4 0 1 取得部

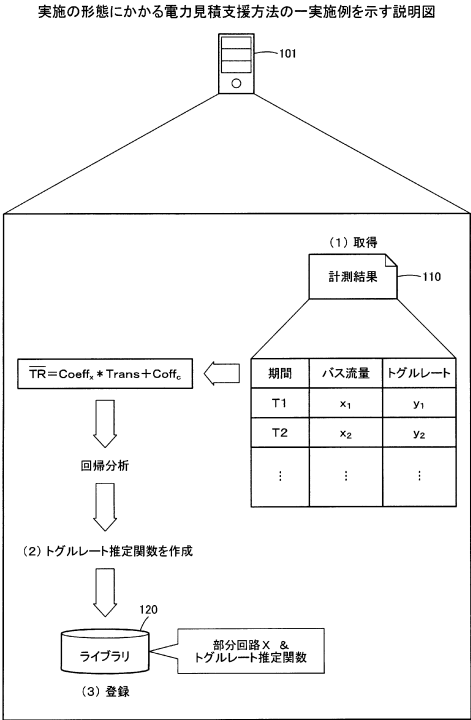
4 0 2 作成部

4 0 3 算出部

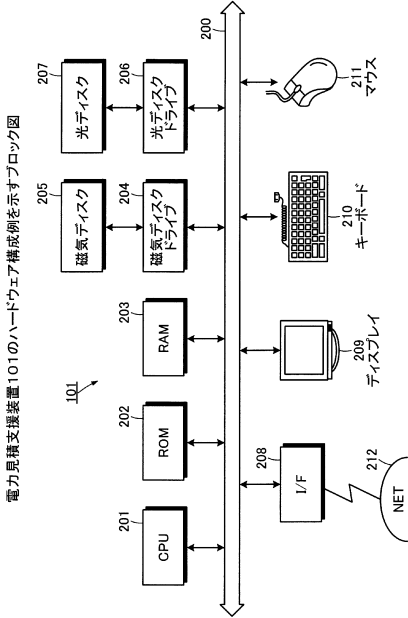
4 0 4 出力部

40

【図 1】



【図 2】



【図 3 A】

計測結果データの具体例を示す説明図 (その 1)

計測結果データ 300

	流量	実行率	平均トグルレート	電力
300-1	0	0	13.02123	194.4015
300-2	0	0	5.663157	135.3365
300-3	1	50	52.03687	599.7278
300-4	2	100	114.6675	1174.916
300-5	2.5	100	141.0136	1509.568
300-6	2.8	100	141.3624	1499.786
300-7	3	100	155.5006	1649.181
300-8	3	100	168.3489	1717.984
300-9	3	100	167.5411	1743.938
300-10	3	100	160.7539	1618.391
300-11	2.8	100	140.279	1414.996
300-12	2.5	100	136.3938	1441.602
300-13	2	100	101.1116	1100.616
300-14	2	100	103.6611	1111.165
300-15	2.5	100	144.929	1477.248
300-16	2.8	100	154.8698	1613.974
300-17	3	100	162.7742	1659.556
300-18	3	100	153.7875	1600.825
300-19	3	100	152.4832	1559.318

【図 3 B】

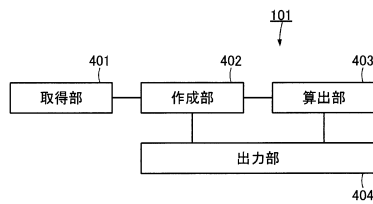
計測結果データの具体例を示す説明図 (その 2)

300

	流量	実行率	平均トグルレート	電力
300-20	3	100	164.9907	1749.31
300-21	3	100	166.9944	1764.199
300-22	2.8	100	143.4052	1517.88
300-23	2.5	100	130.04	1383.448
300-24	2	100	110.994	1135.918
300-25	2	100	112.7366	1203.58
300-26	2	100	105.8993	1131.582
300-27	2	100	101.5276	1057.205
300-28	2.5	100	130.2527	1325.608
300-29	2.8	100	148.6444	1547.023
300-30	3	100	151.191	1536.371
300-31	3	100	158.8472	1663.95
300-32	3	100	163.159	1713.825
300-33	2.8	100	157.2339	1643.516
300-34	2.5	100	127.8284	1335.203
300-35	2	100	102.6972	1058.341
300-36	2	100	105.6549	1063.306
300-37	2	100	109.5023	1163.914
300-38	2	100	115.8134	1214.14

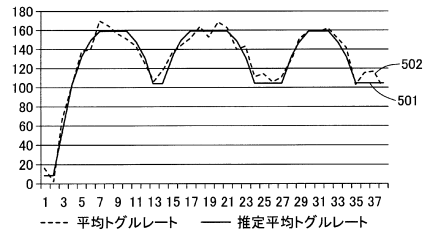
【図 4】

電力見積支援装置101の機能的構成例を示すブロック図



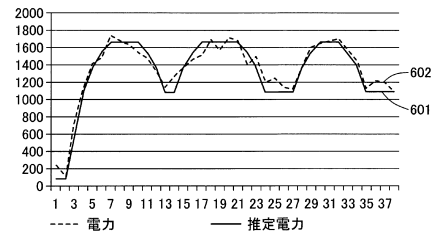
【図 5】

平均トグルレートの計測結果と推定結果とを表す説明図



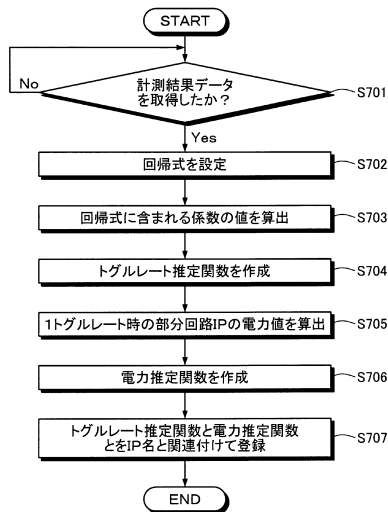
【図 6】

電力の計測結果と推定結果とを表す説明図



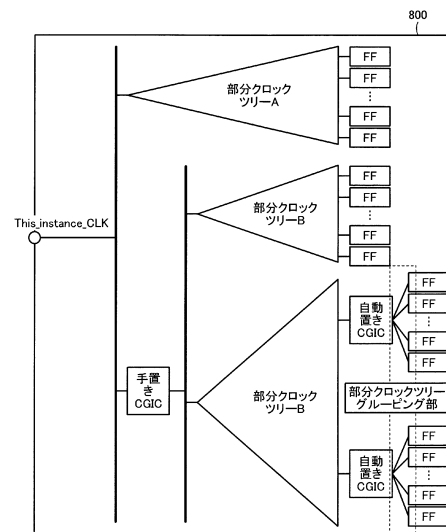
【図 7】

電力見積支援装置101の電力見積支援処理手順の一例を示すフローチャート

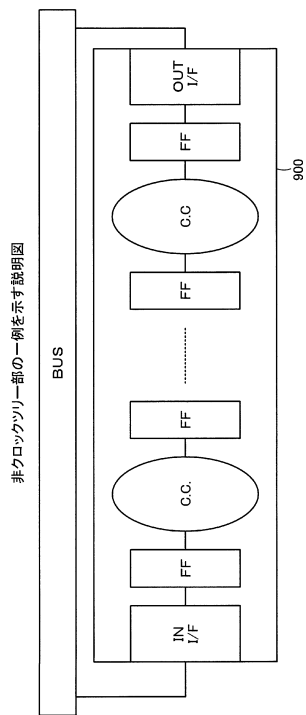


【図 8】

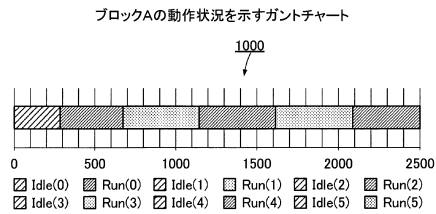
クロックツリー部の一例を示す説明図



【図 9】



【図 10】

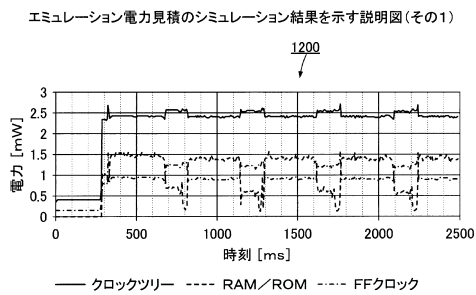


【図 11】

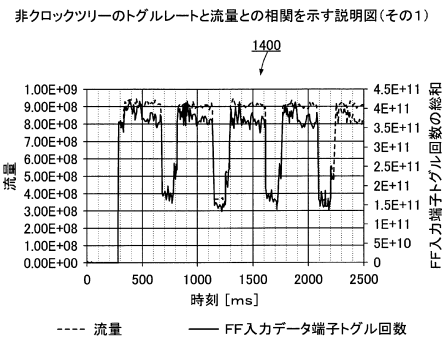
ブロックAの状態データを示す説明図

State	interval [ms]	サイクル数
Idle(0)	281.25	14062500
Run(0)	393.10462	19655231
Idle(1)	0.0231	1155
Run(1)	465.96838	23298419
Idle(2)	0.0202	1010
Run(2)	472.73856	23636928
Idle(3)	0.02064	1032
Run(3)	473.31886	23665943
Idle(4)	0.02078	1039
Run(4)	473.83604	23691802
Idle(5)	0.0205	1025
Run(5)	434.30588	21715294

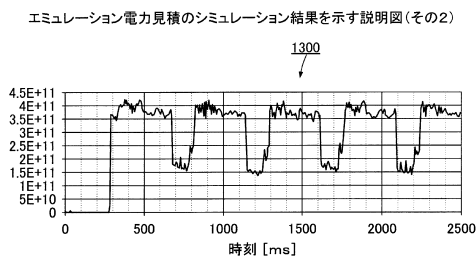
【図 12】



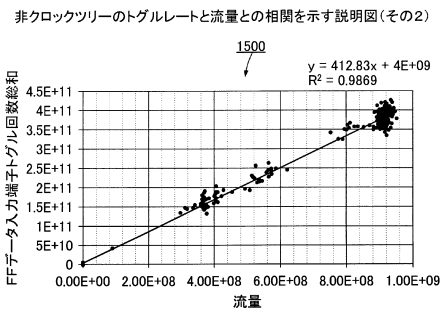
【図 14】



【図 13】

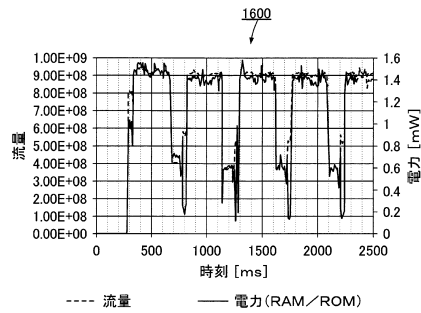


【図 15】



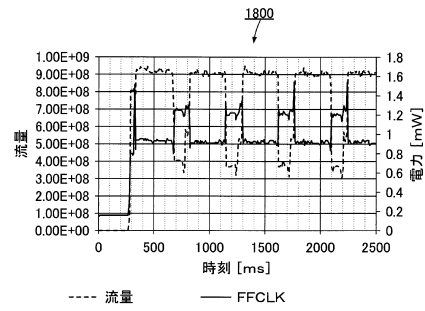
【図 16】

RAM/ROMの電力と流量との相関を示す説明図(その1)



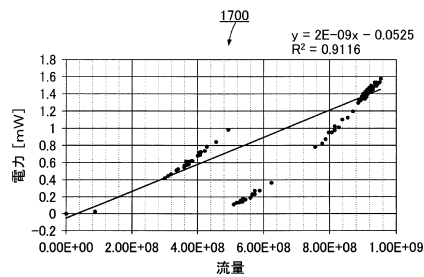
【図 18】

FFクロックの電力と流量との相関を示す説明図(その1)



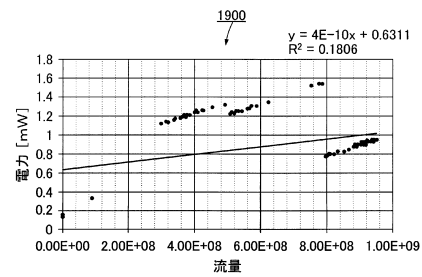
【図 17】

RAM/ROMの電力と流量との相関を示す説明図(その2)



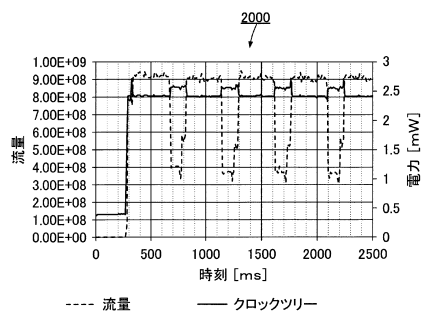
【図 19】

FFクロックの電力と流量との相関を示す説明図(その2)



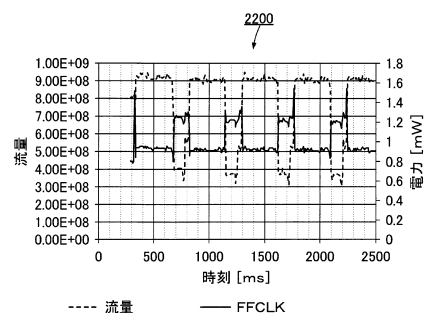
【図 20】

クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図(その1)



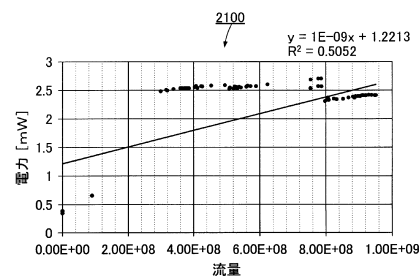
【図 22】

FFクロックの電力と流量との相関を示す説明図(その3)



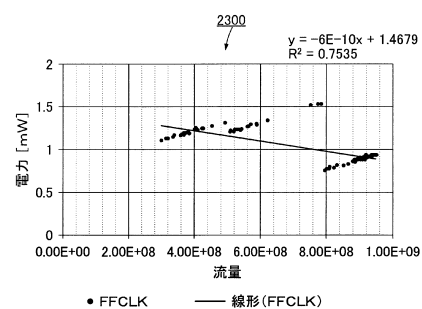
【図 21】

クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図(その2)



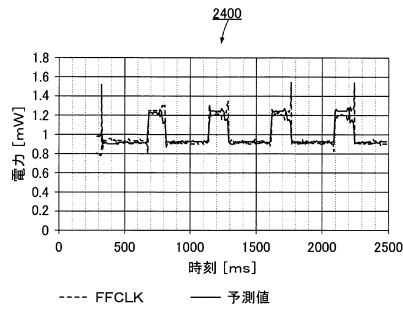
【図 23】

FFクロックの電力と流量との相関を示す説明図(その4)



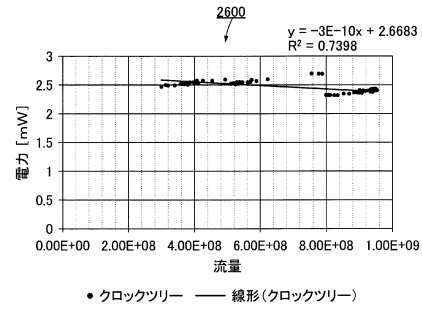
【図 2 4】

FFCLKの電力と流量との相関を示す説明図(その5)



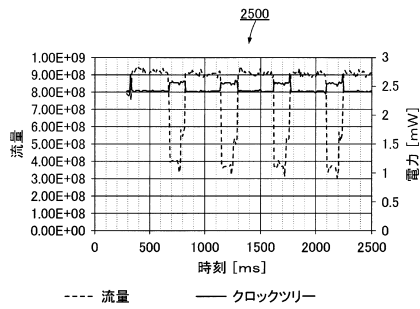
【図 2 6】

クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図(その4)



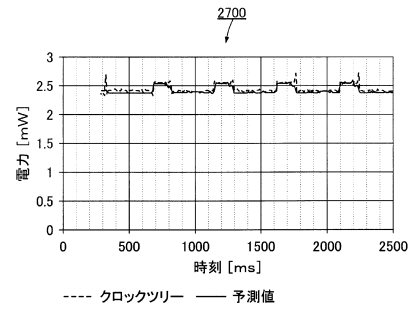
【図 2 5】

クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図(その3)



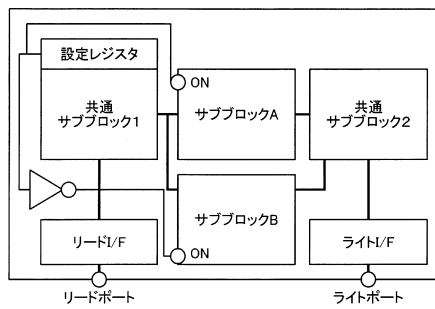
【図 2 7】

クロックツリーの電力と流量との相関を示す説明図(その5)



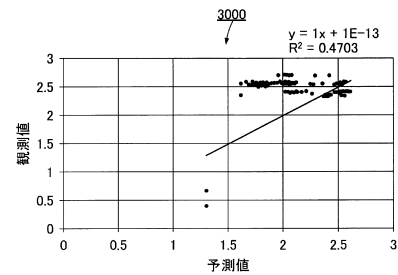
【図 2 8】

マルチファンクションの一例を示す説明図



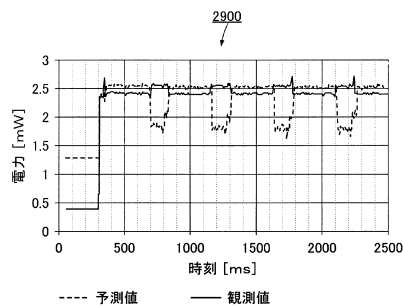
【図 3 0】

サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図(その2)



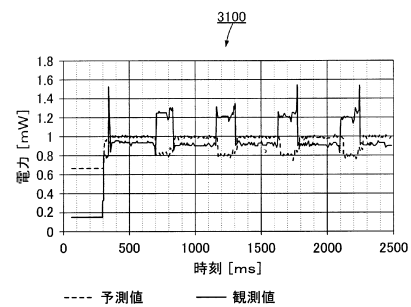
【図 2 9】

サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図(その1)



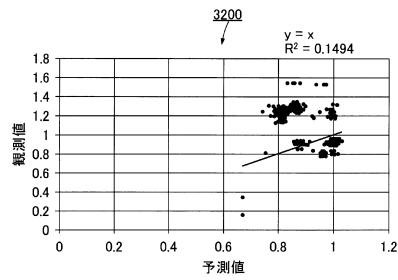
【図 3 1】

サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図(その3)



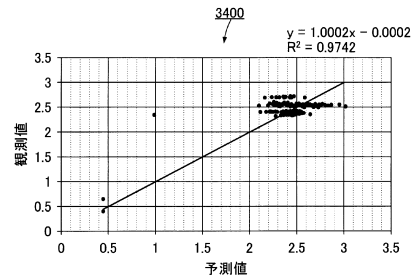
【図 3 2】

サンプルデータ2でのクロックツリーの相関を示す説明図(その4)



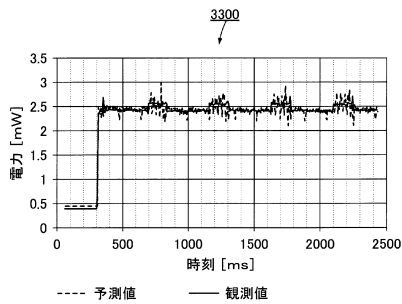
【図 3 4】

流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その2)



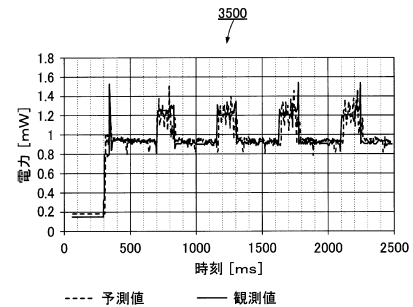
【図 3 3】

流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その1)



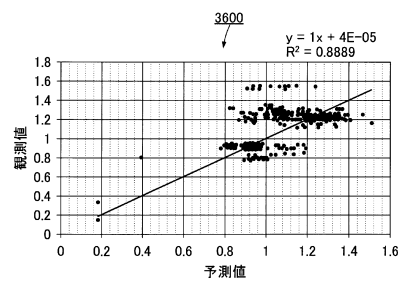
【図 3 5】

流量と待ち時間によるFFクロック電力見積の相関を示す説明図(その1)



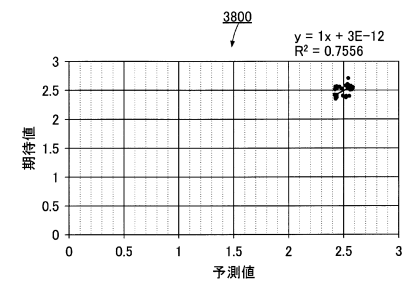
【図 3 6】

流量と待ち時間によるFFクロック電力見積の相関を示す説明図(その2)



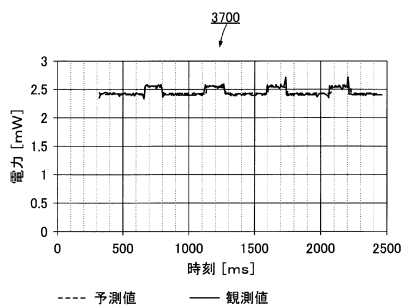
【図 3 8】

Run状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その2)



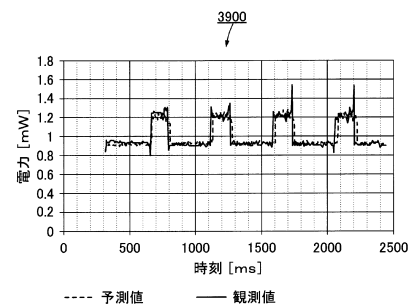
【図 3 7】

Run状態における流量と待ち時間によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その1)

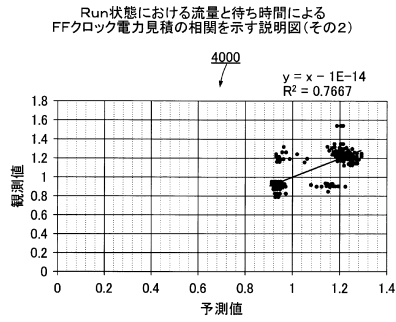


【図 3 9】

Run状態における流量と待ち時間によるFFクロック電力見積の相関を示す説明図(その1)

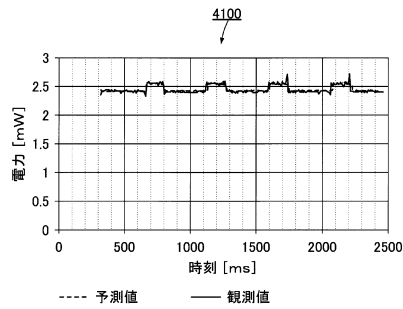


【図 4 0】



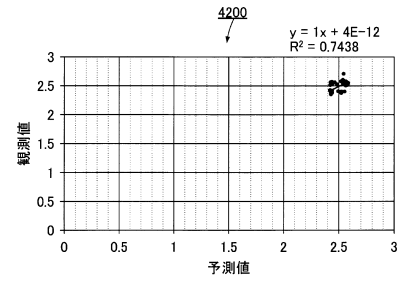
【図 4 1】

Run状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その1)



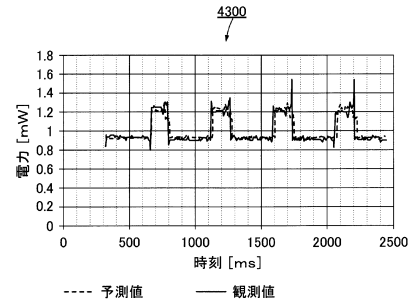
【図 4 2】

Run状態における流量によるクロックツリー電力見積の相関を示す説明図(その2)



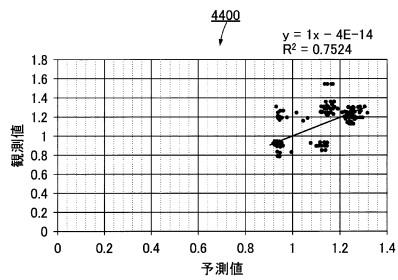
【図 4 3】

Run状態における流量によるFFクロック電力見積の相関を示す説明図(その1)



【図 4 4】

Run状態における流量によるFFクロック電力見積の相関を示す説明図(その2)



【図 4 5 A】

電力見積支援装置101の記述例を示す説明図(その1)

4500

```

`timescale 1ps/1ps

// 状態期間検出用のカウンタ一部品
module state_count_t(input [31:0] id, input [31:0] sub_id, input sig, input probe);
  reg [63:0] prev_time = 0;
  reg [63:0] count = 0;

  always @(sig)
  if (sig==1'b1) prev_time = $time;
  else count = count + ($time - prev_time);

  always @(probe)
  if (probe == 1'b1) begin
    if (sig==1'b1) count = count + ($time - prev_time);
    $display( "%1d%1d%1d%1d", $time, id, sub_id, count);
    count = 0;
    prev_time = $time;
  end
endmodule

// 特定状態での信号変化のカウンタ一
module state_count_t(input [31:0] id, input [31:0] sub_id, input state_sig, input
target_sig, input probe);
  reg [63:0] prev_time = 0;

```


【 図 4 5 C 】

電力見積支援装置101の記述例を示す説明図(その3)

```

...
4500
endmodule

#(1_000_000)
sig = ~sig;

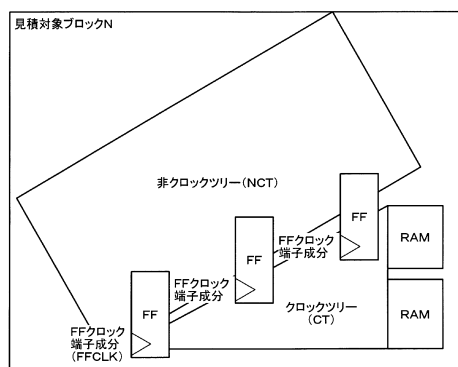
end

integer iter;
initial begin
    probe = 0;
    for(iter = 0; iter < 10; iter = iter+1) begin
        #(800_000);
        probe = 1;
        #0;
        probe = 0;
    end
    $finish;
end

initial begin
    $shm_open("wave");
    $shm_probe(testbench, "ASMC");
end
endmodule // testbench

```

見積対象ブロックNの一例を示す説明図



フロントページの続き

審査官 松浦 功

(56)参考文献 特開2001-056827(JP,A)
特開2008-117210(JP,A)
特開2012-098952(JP,A)
特開2001-338010(JP,A)
特開2007-293542(JP,A)
特開2009-157906(JP,A)
特開2003-186930(JP,A)
国際公開第2008/041280(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50