

LCSAJ カバレッジ： 最も効果的なコードカバレッジテストメカニズム

LCSAJ カバレッジは、達成可能なソースコードカバレッジメトリクスの中で、最も詳細で妥協のないものです。

ソースコード内の LCSAJ の大部分を実行することは現実的で規模に見合ったものであり、これは達成可能なカバレッジメトリクスです。そして、あるレベルの LCSAJ カバレッジを達成すると、他のカバレッジメトリクス（関数、ステートメント、ブランチカバレッジ等）で同じレベルを達成するよりも多くのソースコードが実行されることになるので、より徹底したテストの十分性の評価になります。

LDRA tool suite® に搭載される LCSAJ カバレッジ解析機能は、静的解析と動的解析の技術を組み合わせて適用される、他に類を見ない完全かつ徹底したものです。

LCSAJ とは何ですか？

LCSAJ はパスフラグメント、つまり実行可能コードの線形シーケンスです（図1）。各 LCSAJ は、プログラムの先頭から、または制御フローがジャンプするポイントから開始します。これは、特定の制御フローのジャンプまたはプログラムの終了によって終了します。

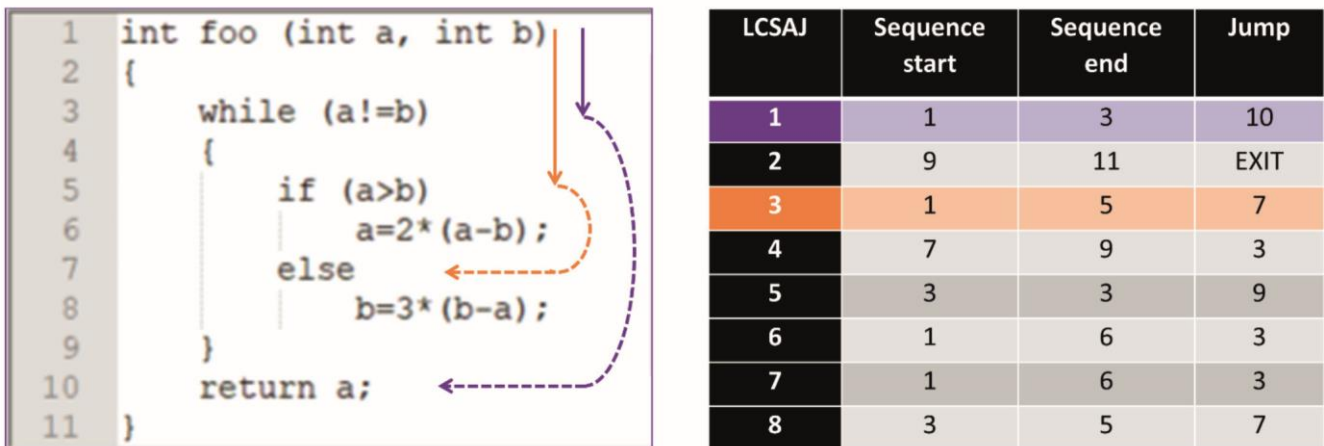


図1: LCSAJ は実行可能コードの線形シーケンス

LCSAJ はブラックボックス、ホワイトボックスどちらのテスト方法ですか？

LCSAJ カバレッジはホワイトボックステストの手法です。つまり、ソースコードへのアクセスが必要で、そのソースコードを参照して結果が表示されます。

LCSAJ カバレッジとは何ですか？

LCSAJ カバレッジは、特定のテストデータセット（テスト入力と期待値）によって実行される LCSAJ の個数を示す尺度で、次の式で表されるものです。

$$\text{LCSAJ カバレッジ} = \frac{\text{少なくとも 1 回実行された LCSAJ の個数}}{\text{全 LCSAJ の個数}}$$

下図で他のカバレッジと比較して示します。

File Summary

Name	Statement (%)	Branch/Decision (%)	MC/DC (%)	LCSAJ (%)
Cell.cpp	82%	78%	50%	70%
Datatin.cpp	79%	70%	31%	26%
Lamp.cpp	86%	100%	n/a	85%
Lampmodel.cpp	0%	0%	n/a	0%

LCSAJ によって、テスト対象のソースコードのパスの有限集合を作ることができます。このパスの集合が有限であるという性質は、すべての LCSAJ をテストすることが可能であることを意味します。対照的に、すべての制御フローパスをテストすることが望ましいかもしれませんが、最も単純なプログラム以外では技術的に不可能です。これは、単純な構成要素であっても、組み合わせて使用すると指数関数的に多数のパスが生成され、非決定的なループ構成要素では無限個のパスが生成される可能性があるからです。

なぜ LCSAJ カバレッジを測定するのですか？

LCSAJ カバレッジを使用すると、ループの解析とプログラム構成要素の組み合わせの解析が強制されるため、他の利用可能な方法よりも、エラーを発生させる可能性のある多くの側面が確実に解析されます。

LCSAJ 対 ブランチカバレッジ、LCSAJ 対 ステートメントカバレッジ

図 2 では、LCSAJ カバレッジを完了するには、同じコードでのブランチカバレッジやステートメントカバレッジに比較して、さらにテストが必要であることを示しています。

Procedure Calls	Statement(100%)	Branch/Decision(100%)	LCSAJ(60%)
TunnelData::Lamp::SetLumensOutput	100	100	100
TunnelData::Lamp::SendPowerToLamp	100	100	100
TunnelData::Zone::InitialiseZone	100	100	92
TunnelData::SystemData::SystemData	100	100	100

図 2: LCSAJ カバレッジは、他のカバレッジメトリクスよりエラーを発生させる可能性を多く発見します

すべての LCSAJ のテストにパスすることで、プログラムのパスの大規模な集合が正しいことを評価できます。それゆえ LCSAJ カバレッジは、高信頼性ソフトウェアアプリケーションの解析に適しています。

100% の LCSAJ カバレッジは常に可能ですか？

LCSAJ カバレッジメトリクスの実際的な問題の 1 つは、LCSAJ の中に矛盾する条件が含まれていて決して実行できないものがあることです。それらの一部は自動テストツールを使用して対処できる可能性があります。それでも不可能な場合には、テスト計画から除外することの正当性の理由を示す必要があります。

LCSAJ カバレッジは機能安全にどのように適用されますか？

LCSAJ カバレッジは、セーフティクリティカルなアプリケーションの開発での使用を目的として設計されています。IEC 61508 (安全関連システム)、ISO 26262 (自動車)、IEC 62304 (医療機器) などの機能安全規格ではコードカバレッジ解析の使用が推奨されており、EN 50128 (鉄道) などの一部の規格では特に LCSAJ カバレッジの使用が推奨されています。

LCSAJ カバレッジはセキュアコーディングとサイバーセキュリティにどのように貢献しますか？

セキュアコーディングは、多層防御戦略において重要な役割を果たします。LDRA tool suite® が提供するホワイトボックス DAST (Dynamic Analysis (or Application) Security Testing) は、コンパイル・実行さ

れるコードを開発環境下やターゲットハードウェア上でテストすることを可能にします。コードカバレッジにより、すべてのセキュリティ要件とその他の要件がコードによって満たされていること、すべてのコードが1つ以上の要件を満たすことの確認が容易になります。IEC 62443 (産業オートメーション) や ISO/SAE 21434 (自動車) などの規格では、これらの理由からコードカバレッジ解析を推奨しています。LCSAJ カバレッジは、セキュリティクリティカルおよびセーフティクリティカルなアプリケーションの両方にとって、最も効果的なコードカバレッジテストメカニズムです。

LDRA tool suite® での LCSAJ カバレッジ測定

LDRA tool suite® は、テストデータ集合をテスト対象のソースコードアプリケーションに適用したときに達成される LCSAJ カバレッジを測定します (図 3)。

Linear Code Sequence and Jump (LCSAJ) Profile			
Number of LCSAJs	30		
Number Executed	29		
Number not Executed	1		
LCSAJ Coverage (%)	97		

Linear Code Sequence and Jump (LCSAJ) Coverage Table			
Start Line	Finish Line	Jump To Line	Coverage
268	290	293	90
289	290	293	90
289	290	296	90
291	292	289	180
293	295	291	180
296	306	309	90
296	306	329	0 ***
305	306	309	95

図 3: LDRA tool suite® による LCSAJ カバレッジのレポート

LDRA tool suite® の静的解析機能は、各プロシージャとプロシージャ間のリンクに関するすべての重要な制御フロー情報を識別します。インターフェイスが正確に表現され、ループ構造が明らかになり、複雑さのメトリクスも生成されます。そして、この情報から、LCSAJ を定義する「開始、終了、ジャンプ先」の3つの基礎的な情報を得ます。

LDRA tool suite® の動的解析機能は、単体テスト、統合テスト、システムテスト実行時に、構造カバレッジを収集します。その LCSAJ カバレッジレポートには、LCSAJ ごとに実行頻度がリストされ、未実行の LCSAJ が強調表示され、複数の実行から収集されたカバレッジ統計が表にまとめられます (図 4)。

	Percentage	Percentage Change	Success Limit
▼ TunnelData::Zone::AssignPoweredCellsOutput			
▼ Combined Coverage Run	Failed		
Statement Coverage	89	+ 89	100
Branch/Decision Coverage	86	+ 86	100
LCSAJ Coverage	70	+ 70	60

図 4: 単体、統合、システムテストの実行時に構造カバレッジが収集されます

到達不能な LCSAJ もリストされます。これらは常に、それ自体が到達不能なコード行から始まります。到達不能なコードを削除すると、より読みやすく効率的なコードが生成され、コードに対する攻撃対象領域が減少します。

LCSAJ 密度と保守性

LCSAJ 密度は保守性のメトリクスです。コード行が変更される場合、その変更によって影響を受ける可能性がある LCSAJ の数が密度によって分かります。密度が高い場合、すべての LCSAJ に対して変更が正しいという信頼性が低下するため、より多くのリグレッションテストが必要です。

終わりに

ソースコードのカバレッジ解析は、機能安全とサイバーセキュリティの両規格で強く推奨されています。LCSAJ カバレッジは、考案されている中で最も効果的なコードカバレッジテストのメカニズムであり、LDRA によるその実装は最も完全なものです。

LDRA の製品とサービスは幅広い産業分野において、組込み電子システムの代名詞ともいえる企業に広く利用されています。LDRA tool suite® は TÜV SÜD の認証を受け、IEC 61508、IEC 62304、IEC 60880、EN 50128、ISO 26262 の要求事項に準拠しています。LDRA の品質管理システムは ISO 9001 の認証を取得しています。

www.ldra.com/lcsaj もご覧ください。



富士設備工業株式会社 電子機器事業部 www.fuji-setsu.co.jp



www.ldra.com
LDRA
 LDRA UK & Worldwide
 Portside, Monks Ferry,
 Wirral, CH41 5LH
 Tel: +44 (0)151 649 9300
 e-mail: info@ldra.com

LDRA Technology Inc.
 2540 King Arthur Blvd, Suite 228,
 Lewisville, Texas 75056
 United States
 Tel: +1 (855) 855 5372
 e-mail: info@ldra.com

LDRA Technology Pvt. Ltd.
 Unit No B-3, 3rd Floor Tower B,
 Golden Enclave, HAL Airport Road,
 Bengaluru
 560017
 India
 Tel: +91 80 4080 8707
 e-mail: india@ldra.com