(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2004-510372
(P2004-510372A)
(43)公表日　平成16年4月2日(2004.4.2)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
H04L 12/24	H04L 12/24		5B046
G06F 17/50	G06F 17/50	650A	5K030
H04L 12/56	H04L 12/56	Z	

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 101 頁）

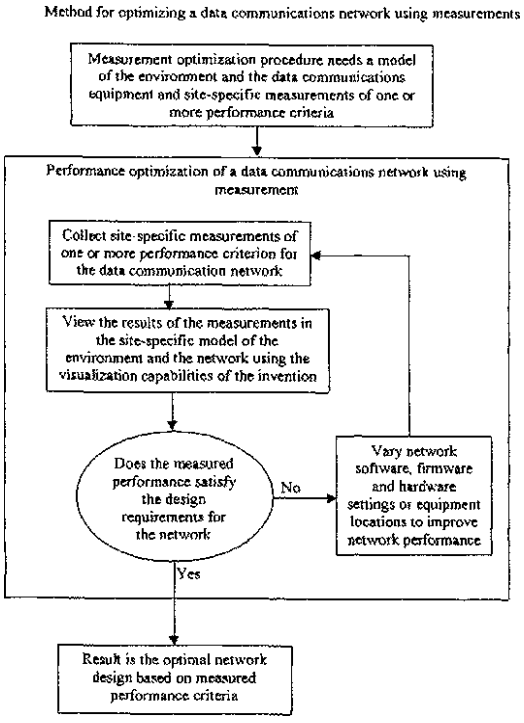
(21)出願番号　特願2002-531278(P2002-531278)
(86)(22)出願日　平成13年9月21日(2001.9.21)
(85)翻訳文提出日　平成15年3月24日(2003.3.24)
(86)国際出願番号　PCT/US2001/029419
(87)国際公開番号　WO2002/027564
(87)国際公開日　平成14年4月4日(2002.4.4)
(31)優先権主張番号　09/668,145
(32)優先日　平成12年9月25日(2000.9.25)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　501456744
ワイアレス　バレー　コミュニケーションズ　インコーポレイテッド
アメリカ合衆国、テキサス州　７８７５８、オースティン、ルトランド　ドライブ　２４０４番地、スイート　７００
(74)代理人　100094983
弁理士　北澤　一浩
(74)代理人　100095946
弁理士　小泉　伸
(74)代理人　100099829
弁理士　市川　朗子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】データ通信ネットワークの設計、追跡、測定、予測および最適化のためのシステムおよび方法

(57)【要約】
データ通信ネットワークの設計、追跡、測定、予測および最適化のためのシステムおよび方法（図７）は、物理環境のサイト固有のモデル（図７）を含み、通信ネットワーク中で用いられるコンポーネントと、ネットワークが配備される物理環境との両方に基づいて様々な異なる計算（図７）を行う。
【選択図】図７



【特許請求の範囲】
【請求項１】
通信ネットワークを設計、配備または最適化する方法であって、
物理空間のコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記物理空間は、複数の異なるオブジェクトを内部に有し、該オブジェクトの各々は、通信ネットワークの性能に影響を与える属性を有する、生成するステップと、
前記通信ネットワークにおいて用いることのできる複数の異なるコンポーネントの性能属性をモデル化するステップと、
前記複数の異なるコンポーネントから、前記通信ネットワークにおいて用いるコンポーネントを指定するステップと、
前記コンピュータ化モデル中の複数の異なるコンポーネントについて前記物理空間内の場所を指定するステップと、
前記異なるオブジェクトを考慮する前記通信ネットワークの性能メトリックを予測するステップであって、該性能メトリックは、スループット、誤り率、パケット待ち時間、パケットジッタ、シンボルジッタ、サービス品質、セキュリティ、カバレージエリア、帯域幅、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、往復時間、パケット損失率、キューイング遅延、容量、信号レベル、干渉レベル、帯域幅遅延積、ハンドオフ遅延時間、信号対干渉比、信号対雑音比、物理的機器の価格、およびコスト情報からなる群から選択される、予測するステップとを含む方法。
【請求項２】
前記生成するステップにおいて生成された前記コンピュータ化モデルは、雑音または干渉を生じるオブジェクトを含み、該雑音または干渉は、前記予測するステップにおいて考慮される前記オブジェクトの属性である請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記予測するステップにおいて予測される前記性能メトリックは、前記通信ネットワークにおいて順方向で予測される請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記予測するステップにおいて予測される前記性能メトリックは、前記通信ネットワークにおいて逆方向で予測される請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記コンピュータ化モデルは、３次元である請求項１に記載の方法。
【請求項６】
データ転送プロトコルを指定するステップをさらに含み、前記予測するステップは、指定のデータ転送プロトコルを、前記性能メトリックを予測する際の要因として用いる請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記通信ネットワークのネットワーク負荷を指定するステップをさらに含み、前記予測するステップは、指定のネットワーク負荷を、前記性能メトリックを予測する際に用いる請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記空間内の前記通信ネットワークの前記性能メトリックを測定するステップと、
前記予測するステップにおいて行った予測を、前記測定するステップにおいて行った測定に基づいて修正するステップと、
をさらに含む請求項１に記載の方法。
【請求項９】
通信ネットワークを設計、配備または最適化する方法であって、
物理空間のコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記物理空間は、複数の異なるオブジェクトを内部に有し、該オブジェクトの各々は、通信ネットワークの性能に影響を与える属性を有する、生成するステップと、
前記通信ネットワークにおいて用いることのできる複数の異なるコンポーネントの性能属

性をモデル化するステップと、
前記複数の異なるコンポーネントから、前記通信ネットワークにおいて用いるコンポーネントを指定するステップと、
前記通信ネットワーク内の複数の異なるコンポーネントについて前記物理空間内の場所を指定するステップと、
前記通信ネットワークの性能メトリックを予測するステップと、
テーブル参照を用いるステップであって、それによって、実験的に測定したネットワーク性能メトリックを予測した性能メトリックと関連付ける、用いるステップと
を含む方法。
【請求項１０】
前記性能メトリックは、スループット、誤り率、パケット待ち時間、パケットジッタ、シンボルジッタ、サービス品質、セキュリティ、カバレージエリア、帯域幅、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、キューイング遅延、容量、信号レベル、干渉レベル、往復時間、帯域幅遅延積、ハンドオフ遅延時間、信号対干渉比、信号対雑音比、物理的機器の価格、およびコスト情報からなる群から選択される請求項９に記載の方法。
【請求項１１】
通信ネットワークを設計、配備および最適化する方法であって、
物理空間のコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記物理空間は、複数の異なるオブジェクトを内部に有し、該オブジェクトの各々は、通信ネットワークの性能に影響を与える属性を有する、生成するステップと、
前記通信ネットワークにおいて用いることのできる複数の異なるコンポーネントの性能属性をモデル化するステップと、
前記複数の異なるコンポーネントから、前記通信ネットワークにおいて用いるコンポーネントを指定するステップと、
前記コンピュータ化モデル中の複数の異なるコンポーネントについて前記物理空間内の場所を指定するステップと、
実験的に測定したネットワーク性能メトリックのテーブル参照を用いるステップであって、それによって、性能メトリックの断定を提供または生成する、用いるステップと
を含む方法。
【請求項１２】
通信ネットワークの解析方法であって、
物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられるコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
データ収集測定デバイスを前記物理空間内に位置決めするステップと、
前記コンピュータ化モデル中の、前記測定デバイスに対応する場所を特定するステップと、
前記データ収集測定デバイスを用いて現場測定データを測定するステップと、
前記現場測定データと、前記コンポーネントの前記モデル化した属性と、前記コンピュータ化モデル中の前記コンポーネントの前記場所とに基づいて前記通信ネットワークの性能メトリックを予測するステップと
を含む方法。
【請求項１３】
前記コンピュータ化モデルは、３次元である請求項１２に記載の方法。
【請求項１４】
前記位置決めするステップにおいて用いられる前記データ収集測定デバイスは、ポータブルである請求項１２に記載の方法。

【請求項１５】
前記位置決めするステップは、前記データ収集測定デバイスを前記物理空間内に永久的に取り付けるステップを含む請求項１２に記載の方法。
【請求項１６】
前記予測するステップにおいて予測される前記性能メトリックは、スループット、誤り率、パケット待ち時間、パケットジッタ、シンボルジッタ、サービス品質、セキュリティ、カバレージエリア、帯域幅、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、キューイング遅延、往復時間、容量、信号レベル、干渉レベル、帯域幅遅延積、ハンドオフ遅延時間、信号対干渉比、信号対雑音比、物理的機器の価格、およびコスト情報からなる群から選択される請求項１２に記載の方法。
【請求項１７】
前記測定するステップは、手動で行われる請求項１２に記載の方法。
【請求項１８】
前記測定するステップは、自律的に行われる請求項１２に記載の方法。
【請求項１９】
前記現場測定データを格納するステップをさらに含む請求項１２に記載の方法。
【請求項２０】
前記生成するステップにおいて生成した前記コンピュータ化モデルを更新するステップをさらに含む請求項１２に記載の方法。
【請求項２１】
前記更新するステップは、
複数の異なるモデル化したコンポーネントから、前記通信ネットワークにおいて用いるコンポーネントを指定するステップであって、前記モデル化したコンポーネントは、特定コンポーネントの記述および属性を含む、指定するステップと、
前記コンピュータ化モデル中の複数の異なるコンポーネントについて前記物理空間内の場所を指定するステップと
を含む請求項２０に記載の方法。
【請求項２２】
前記更新するステップは、第１の前記指定するステップにおいて指定した、第２の前記指定するステップにおいて指定した前記場所にある少なくとも１つのコンポーネントの方向を指定するステップをさらに含む請求項２１に記載の方法。
【請求項２３】
前記生成するステップにおける前記コンピュータ化モデルは、前記物理空間内の前記場所にある前記コンポーネントの方向を特定し、前記予測するステップは、該方向を使用する請求項１２に記載の方法。
【請求項２４】
前記生成するステップにおいて生成した前記コンピュータ化モデルは、雑音または干渉を生じるオブジェクトを含み、該雑音または干渉は、前記予測するステップにおいて考慮される前記オブジェクトの属性である請求項１２に記載の方法。
【請求項２５】
前記予測するステップにおいて予測される前記性能メトリックは、前記通信ネットワークにおいて順方向で予測される請求項１２に記載の方法。
【請求項２６】
前記予測するステップにおいて予測される前記性能メトリックは、前記通信ネットワークにおいて逆方向で予測される請求項１２に記載の方法。
【請求項２７】
データ転送プロトコルを指定するステップをさらに含み、前記予測するステップは、指定のデータ転送プロトコルを、前記性能メトリックを予測する際の要因として用いる請求項１２に記載の方法。
【請求項２８】

前記通信ネットワークのネットワーク負荷を指定するステップをさらに含み、前記予測するステップは、指定のネットワーク負荷を、前記性能メトリックを予測する際に用いる請求項１２に記載の方法。

【請求項２９】

通信ネットワークを解析するシステムであって、

物理空間内の通信ネットワークを示すコンピュータ化モデルであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または配備される予定であり、なお該コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられるコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、コンピュータ化モデルと、

前記物理空間内に位置決めされるデータ収集測定デバイスであって、前記コンピュータ化モデル中において、該データ収集測定デバイスに対応する場所で表され、前記物理空間の現場測定データを測定するデータ収集測定デバイスと、

前記現場測定データと、前記コンポーネントの前記モデル化した属性と、前記コンピュータ化モデル中の前記コンポーネントの前記場所とに基づいて前記通信ネットワークの性能メトリックを予測する手段と

を備えるシステム。

【請求項３０】

前記コンピュータ化モデルは、３次元である請求項２９に記載のシステム。

【請求項３１】

前記データ収集測定デバイスは、ポータブルである請求項２９に記載のシステム。

【請求項３２】

前記データ収集測定デバイスは、前記物理空間内の前記場所に永久的に取り付けられる請求項２９に記載のシステム。

【請求項３３】

前記予測する手段が予測する前記性能メトリックは、スループット、誤り率、パケット待ち時間、パケットジッタ、シンボルジッタ、サービス品質、セキュリティ、カバレージエリア、帯域幅、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、キューイング遅延、往復時間、容量、信号レベル、干渉レベル、帯域幅遅延積、ハンドオフ遅延時間、信号対干渉比、信号対雑音比、物理的機器の価格、コスト情報からなる群から選択される請求項２９に記載のシステム。

【請求項３４】

前記現場測定データを格納する手段をさらに備える請求項２９に記載のシステム。

【請求項３５】

前記コンピュータ化モデルは、少なくとも１つのサーバ上に格納される請求項２９に記載のシステム。

【請求項３６】

前記コンピュータ化モデルは、複数のサーバ上に格納され、該複数のサーバは、互いに通信することができる請求項３５に記載のシステム。

【請求項３７】

前記複数のサーバは、前記システムにおいて互いに階層関係を有する請求項３６に記載のシステム。

【請求項３８】

少なくとも１つのポータブルクライアントデバイスをさらに備え、該少なくとも１つのポータブルクライアントデバイスは、前記少なくとも１つのサーバと通信することができる請求項３５に記載のシステム。

【請求項３９】

複数のポータブルクライアントデバイスを備える請求項３７に記載のシステム。

【請求項４０】

通信ネットワークの解析方法であって、

物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられる複数のコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデルに基づいて前記通信ネットワークの伝播遅延情報を予測するステップと、
前記伝播遅延情報を出力、格納または表示するステップと
を含む方法。
【請求項４１】
前記生成するステップにおいてモデル化される前記複数のコンポーネントのうち少なくともいくつかは、ワイヤレス通信において用いられ、前記予測するステップは、ワイヤレス通信において用いられる前記コンポーネントの配置に起因するマルチパス遅延を考慮する請求項４０に記載の方法。
【請求項４２】
通信ネットワークの解析方法であって、
物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられる複数のコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデルに基づいて前記通信ネットワークの性能メトリックを予測するステップであって、該性能メトリックは、フレーム誤り率、ビット誤り率、およびパケット誤り率からなる群から選択される、予測するステップと、
前記性能メトリックを出力、格納または表示するステップと
を含む方法。
【請求項４３】
前記生成するステップにおいてモデル化される前記複数のコンポーネントのうち少なくともいくつかは、ワイヤレス通信において用いられ、前記予測するステップは、ワイヤレス通信において用いられる前記コンポーネントの配置に起因するマルチパス遅延を考慮する請求項４２に記載の方法。
【請求項４４】
通信ネットワークの解析方法であって、
物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられる複数のコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデルに基づいて前記通信ネットワークの往復時間および帯域幅遅延積情報のうちの少なくとも１つを予測するステップと、
前記往復時間および帯域幅遅延積情報のうちの少なくとも１つを出力、格納または表示するステップと
を含む方法。
【請求項４５】
前記生成するステップにおいてモデル化される前記複数のコンポーネントのうち少なくともいくつかは、ワイヤレス通信において用いられ、前記予測するステップは、ワイヤレス通信において用いられる前記コンポーネントの配置に起因するマルチパス遅延を考慮する請求項４４に記載の方法。
【請求項４６】
通信ネットワークの解析方法であって、

物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられる複数のコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデルに基づいて前記通信ネットワークのネットワーク情報のスループットを予測するステップと、
前記ネットワーク情報のスループットを出力、格納または表示するステップとを含む方法。
【請求項４７】
前記生成するステップにおいてモデル化される前記複数のコンポーネントのうち少なくともいくつかは、ワイヤレス通信において用いられ、前記予測するステップは、ワイヤレス通信において用いられる前記コンポーネントの配置に起因するマルチパス遅延を考慮する請求項４６に記載の方法。
【請求項４８】
通信ネットワークを解析するシステムであって、
物理空間内の通信ネットワークを示すコンピュータ化モデルであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または配備される予定であり、なお該コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられるコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、コンピュータ化モデルと、
伝播遅延情報、ビット誤り率、フレーム誤り率、パケット誤り率、帯域幅遅延積、サービス品質およびネットワークのスループットからなる群から選択される性能メトリックを予測する手段であって、前記コンピュータ化モデルに基づいて予測を行う、予測する手段と、
前記性能メトリックを出力、格納または表示する手段と
を備えるシステム。
【請求項４９】
前記予測する手段は、伝播遅延情報を予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５０】
前記予測する手段は、ビット誤り率を予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５１】
前記予測する手段は、フレーム誤り率を予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５２】
前記予測する手段は、パケット誤り率を予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５３】
前記予測する手段は、往復時間および帯域幅遅延積のうちの少なくとも１つを予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５４】
前記予測する手段は、ネットワークのスループットを予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５５】
前記予測する手段は、サービス品質情報を予測する請求項４８に記載のシステム。
【請求項５６】
通信ネットワークを設計、配備または最適化する方法であって、
物理空間のコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記物理空間は、複数の異なるオブジェクトを内部に有し、該オブジェクトの各々は、通信ネットワークの性能に影響を与える、生成するステップと、
前記通信ネットワークにおいて用いることのできる複数の異なるコンポーネントの性能属性をモデル化するステップと、

前記複数の異なるコンポーネントから、前記通信ネットワークにおいて用いるコンポーネントを指定するステップと、
前記コンピュータ化モデル中の複数の異なるコンポーネントについて前記物理空間内の場所を指定するステップと、
予測した、または事前に設定した性能メトリックのテーブル参照を用いるステップであって、それによって、性能メトリックの予測値を提供または生成する、用いるステップと
を含む方法。
【請求項５７】
通信ネットワークの解析方法であって、
物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられるコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデル中の、前記測定デバイスに対応する場所を特定するステップと、
現場測定データのファイルをダウンロードまたは入力するステップと、
前記現場測定データと、前記コンポーネントの前記モデル化した属性と、前記コンピュータ化モデル中の前記コンポーネントの前記場所とに基づいて前記通信ネットワークの性能メトリックを予測または提供するステップと
を含む方法。
【請求項５８】
前記ダウンロードまたは入力するステップにおいて得られる前記現場測定データは、前記物理空間に固有のものである請求項５７に記載の方法。
【請求項５９】
通信ネットワークの解析方法であって、
物理空間内の通信ネットワークのコンピュータ化モデルを生成するステップであって、前記通信ネットワークは前記物理空間内に配備されているか、または、配備される予定であり、前記コンピュータ化モデルは、前記通信ネットワークにおいて用いられる複数のコンポーネントの前記物理空間内における場所を特定し、前記コンポーネントの各々についてモデル化した属性を有する、生成するステップと、
前記コンピュータ化モデルに基づいて前記通信ネットワークのサービス品質情報を予測するステップと、
前記サービス品質情報を出力、格納または表示するステップと
を含む方法。
【請求項６０】
前記生成するステップにおいてモデル化される前記複数のコンポーネントのうち少なくともいくつかは、ワイヤレス通信において用いられ、前記予測するステップは、ワイヤレス通信において用いられる前記コンポーネントの配置に起因するマルチパス遅延を考慮する請求項５９に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
［発明の背景］
発明の分野
本発明は、通信ネットワークの分野に関し、より具体的には、通信ネットワークの設計、ならびににデータ通信ネットワークの性能の測定、視覚化、予測および最適化に関する。データ通信ネットワークの性能を予測、視覚化および最適化する方法およびシステムは、データネットワークを含む物理環境およびコンポーネントの精確なサイト固有のモデルを用いてこれらのデータネットワークの設計、測定、監視、問題解決、向上を行うために用いられる。

【０００２】
関連技術の説明
通信ネットワークは、ある場所から別の場所へ情報を送るために用いられる。この情報は多くの場合、音声、映像またはデータの形をとる。情報を送信するために、通信ネットワークは、メッセージを一連の数に分解する。これらの数は、ある所定の方法を用いてどのように情報を構築するかを記述する。たとえば数は、図１に示すように、スピーカーが音声を再現できるようにスピーカーに印加されるべき信号電圧のデジタルサンプルを表し得る。この場合の情報は、通信ネットワークにより伝送された音声メッセージである。
【０００３】
情報を表現するプロセスは、アナログであってもデジタルであってもよい。アナログ通信ネットワークにおいて、伝送されるメッセージは、連続的に変化する数である。デジタルネットワークでは、連続的ではなく離散した一定間隔で変化する数が、メッセージを表現する。この信号は、各間隔につき１つの数で表される。この数はバイナリ形式に変換することができ、メッセージ全体を有限個数の１と０として表すことができる。メッセージ中の各２進数はビットと呼ばれる。これらのビットは送信され、受信機がメッセージとして解釈する。バイナリおよびデジタル型の信号を図２に示す。
【０００４】
データ通信ネットワークは、ビットまたはバイト（８ビットの組）として表されるデジタル情報を屋内または屋外の有線またはワイヤレスネットワークにおいて送信機から受信機へ伝送する特定タイプの通信ネットワークである。概念的には単純であるが、データをあるＡ点からあるＢ点へ伝送する手段は、実施では複雑かつ様々である。データを正確かつ効率的に送る方法を扱うために、何百ものプロトコル、ハードウェアデバイス、ソフトウェア技法およびプログラムが存在する。所与のデータ通信ネットワークの正確な性能は、この複雑さのため、さらにデータ通信ネットワークと当該ネットワークが動作するチャネルの時変性質の性能効果のために予測が、あるいは測定でさえ非常に困難である。
【０００５】
データ通信ネットワークは、回線交換網またはパケット交換網のいずれかに分類することができる。両ネットワークタイプは、チャネルを用いて情報を伝送する。チャネルは、通信ネットワークのユーザ間の指定された通信路である。チャネルは、多くの異なる個々のハードウェアデバイスからなる場合があり、送信機と受信機の間の特定経路である。回線交換網において、情報は専用チャネルにより伝送される。ネットワークチャネルは１回の伝送専用に確保され、ビットは１度に全部送られる。この一例は、ファックス機を使用した文書の伝送である。この場合、ファックス機は、文書の画像をピクセルに変換する。各ピクセルは、紙の小さなドットサイズの長方形部分である。各ピクセルは、黒または白のいずれかとしてみなされる。伝送されるデータは、各ドットが黒なのか白なのかを表す連続したビットである。メッセージ（この場合は文書の画像）をあるファックス機から別のファックス機へ送る準備ができると、ＰＯＴＳ（ｐｌａｉｎ ｏｌｄ ｔｅｌｅｐｈｏｎｅ ｓｙｓｔｅｍ：従来型電話システム）通信ネットワークにより電話をかけることによって、電話回線はデータ転送専用となる。電話線は、そのファックス伝送が専用で用いるので、回線交換伝送となっている。接続の確立後、全データは第１のファックス機から第２のファックス機へ、一本の長いビットストリームで送られる。この場合、ビットは、電話線上で周波数の異なる音として伝送される。高音は「１」を表すことができ、一方で低音は「０」を表すことができる。受信側のファックスは、連続した高音および低音をデータビットに変換することによって、メッセージのビットを受信する。受信側のファックス機は次に、データビットが示す場所に黒のドットを描画することによって、元の文書のコピーを再構築することができる。
【０００６】
パケット交換網は、もう１つのタイプのデータ通信ネットワークであり、パケット交換網において、全データビットは、パケットと呼ばれる多くの小さなデータビットの塊として伝送され、ある場所から別の場所へ個別に送られる。パケットとは、ヘッダ、データビッ

ト、そして時としてフッタからなる完全なメッセージの独立部分である。パケットは、データ通信ネットワークがパケットを正確に伝送し、そのパケット中のデータがどのメッセージの一部なのかを知ることを可能にする情報をヘッダおよびフッタに含む。ヘッダは通常、ネットワークがパケットを正しい受信機に転送するために用いる識別子でラベル付けされる。ヘッダおよびフッタ情報は、パケットを他のパケットと再度組み立てて元のメッセージを再び形成し、かつパケットの伝送中に誤りが生じたかをチェックするために用いられることが多い。受信機は、ヘッダおよびフッタという見出しを捨て去り、全パケットからのデータビットを元のメッセージに再度組み立てることによって、受信した全パケットを元のメッセージに組み立てることができる。

【０００７】

パケット交換網は、パケットの転送方法に応じてコネクション型またはコネクションレス型として分類される。コネクション型ネットワークでは、ネットワークチャネルが、各伝送について予め定義された状態で用いられる。この伝送は、複数のパケットからなる可能性があるが、送信機から受信機への経路は既に確立されているため、このチャネル上で送られるパケットは全て、即座に直接受信機へ送ることができる。これに対し、コネクションレス型ネットワークでは、パケットは共有チャネル上で複数回の伝送により同時に送られる。この場合、パケットは、受信機のアドレスを示す識別子を必要とする。このアドレスは、通信ネットワークが理解するので、パケットを正しい受信機に正確に送ることが可能となる。各パケットは別個に送信され、よって他の伝送からのパケットが時間的に介在することが可能であるため、共有ネットワーク資源を用いる際には通常、コネクションレス型の伝送方法を用いるほうが効率的である。

【０００８】

コネクションレス型のパケットベースの伝送の一例は、２つのコンピュータ間での、両コンピュータが接続されたインターネットプロトコル（ＩＰ）ベースのイーサネット（登録商標）ネットワーク上におけるファイル転送である。この場合、転送されるファイルは、送信機において適切なパケットに断片化され、ＩＰアドレスでラベル付けされる。このＩＰアドレスは、ネットワークがパケットを正しい受信機に転送するために用いる識別子である。するとパケットは、送信側コンピュータから受信側コンピュータへ送られる。イーサネット（登録商標）ネットワークは、各宛先からのパケットの流れを共通で制御することにより、多くの異なるコンピュータからの複数のファイル転送を全て同一のネットワークを用いてサポートすることが可能である。次に受信機は、パケットを元のファイルの正確なコピーに組み立て、伝送が完了する。

【０００９】

全てのデータネットワークは、何らかの形式の通信プロトコルを使用して、情報の送信および受信を規制する。プロトコルとは、適切なデータ通信を行うために、通信ネットワーク上の全てのハードウェアおよびソフトウェアが従わなければならない規則集合である。現在、何百ものプロトコルが世界的な情報交換に盛んに使用されている。これらのプロトコルのなかには、転送制御プロトコル（ＴＣＰ）やユーザデータグラムプロトコル（ＵＤＰ）など、ネットワークへのアクセス方法を定義するものもある。インターネットプロトコル（ＩＰ）やファイル転送プロトコル（ＦＴＰ）といった他のプロトコルは、メッセージおよびパケットをフォーマット、送信、および受信する方法を定義する。

【００１０】

全てのデータ通信ネットワークは、何らかの方法で解析し、ネットワークの効率および性能を評価するとともに、ネットワークが正常に機能していることを確認することができる。これらのデータネットワークの機能性を評価するために、特定の性能基準を用いる。これらの性能基準には、スループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積、およびハンドオフ遅延時間が含まれるが、これらに限定されない。各性能基準は、データ通信ネットワークの異なる性能パラメータを指定する。これらの基準についてはさらに

後述する。

【００１１】

リンクとは、メッセージがたどる、データ通信ネットワークにおける送信機と受信機の間の経路の一部である。ネットワーク接続は、ネットワークパケットを送信機から受信機へ中継する個々のデバイスから構成されることが多い。これは、ネットワーク接続が、元の送信機と意図する受信機との間における数回の実際の伝送から構成され得ることを意味する。個々の中継がリンクと呼ばれる。通常、完全なネットワーク接続はいくつかのリンクからなる。性能基準は、個々のリンクについて測定することができる。

【００１２】

スループットとは、データネットワーク内の２つの場所間で伝送できる、ヘッダ、フッタまたは経路情報ビットを含まないデータ量の測定値である。これは通常、ビット毎秒（ｂｐｓ）で測定され、データ通信ネットワーク内の送信機と受信機の間の接続を構成するハードウェア、ソフトウェア、ファームウェアまたはそれらの任意の組み合わせについて指定することができる。帯域幅は、データ通信ネットワークについて定義したスループットと同様である。帯域幅は、所与の通信ネットワークが維持できるローデータレートであり、通常はスループットよりわずかに高い。たとえばイーサネット（登録商標）リンクは、ピーターソン　エル．エル．およびデービー　ビー．エス．著，「コンピュータネットワーク：システムアプローチ」，サンフランシスコ，モーガン　カウフマン出版社，２０００年（Ｐｅｔｅｒｓｏｎ，Ｌ．Ｌ．ａｎｄ Ｄａｖｉｅ，Ｂ．Ｓ．，Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ：Ａ Ｓｙｓｔｅｍｓ Ａｐｐｒｏａｃｈ，Ｓａｎ Ｆｒａｎｃｉｓｃｏ：Ｍｏｒｇａｎ Ｋａｕｆｍａｎｎ Ｐｕｂｌｉｓｈｅｒｓ，２０００）に教示されるように、定格帯域幅が１０Ｍｂｐｓであっても、実際のファイル転送の測定値では、同一リンクを用いて２つのコンピュータ間でデータを実際に転送できる速度は６．８Ｍｂｐｓのスループットに過ぎないことが示される場合がある。

【００１３】

サービス品質（ＱｏＳ）とは、特定のネットワーク送信機に一定量の帯域幅を割り当てるネットワークを表すために用いられる用語である。かかるネットワークは、特定の帯域幅を要求するための伝送を許可する。次にネットワークは、当該帯域幅を保証できるか否かを決める。その結果、ネットワークプログラムは、より容易に適応可能な信頼性のある帯域幅を持つようになる。接続のサービス品質を測定する際には、異なる要求帯域幅について、ネットワークが提供するという帯域幅を実際の帯域幅と比較すべきである。

【００１４】

図３は、ビット、パケット、およびフレームの違いを示す。データ通信ネットワークにはビット、パケットおよびフレームについて様々な誤り率が定義される。ビットは、パケットおよびフレームの中核である。ビットは、通信ネットワーク上で送られる実際のメッセージデータである。パケットは、データビットと、パケットヘッダおよびパケットフッタとを含む。パケットヘッダおよびパケットフッタは、通信ネットワークプロトコルにより付加され、データビットが通信ネットワーク内の正しい場所に送られて受信機によって正しく解釈されることを確実にするために用いられる。パケットヘッダおよびパケットフッタは、パケットが正しく送られること、および万一誤りが生じた場合にはそれが検出されることを確実にするためにも用いられる。フレームは単に、１つのフレームがいつ始まるのか、あるいはいつ終わるのかを受信機が知ることを可能にする一定のパターンまたはフォーマットを有する連続したビットである。ビット誤り率とは、受信機に誤って到着した、あるいは受信機に到着しなかったビットを、送出したビット数と比較した割合である。パケット誤り率またはパケット損失率とは、受信機に誤って到着した、あるいは受信機に到着しなかったパケットを、送出したパケット数と比較した割合である。フレーム誤り率とは、受信機に誤って到着した、あるいは受信機に到着しなかったフレームを、送出したパケット数と比較した割合である。

【００１５】

特定のネットワークイベントの遅延時間を定量化するために、いくつかの用語が用いられ

、秒の時間単位で表現され得る。パケット待ち時間とは、パケットを送信機から受信機へ送るために必要な時間である。一方、往復時間（ＲＴＴ）とは、パケットが送信機から受信機へ送られて、何らかの確認応答が受信機から元の送信機へ返されるために必要な時間である。伝播遅延、送信遅延、処理遅延、およびキューイング遅延は、異なる部分のパケット伝送が行われるために必要な時間を表す。ネットワーク接続のパケット待ち時間および往復時間は、片道または往復のネットワーク接続の伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延を合計することによって求めることができる。伝播遅延とは、パケットが送信機から受信機までの物理的距離を渡るために必要な時間である。送信遅延とは、パケットの最初のビットが到着した時点から同じパケットの最後のビットが到着するまでに必要な時間である。処理遅延とは、送信機においてデータメッセージを個々のパケットに分割するために必要な時間と、受信機においてデータパケットから完全なデータメッセージを再現するために必要な時間とを指す。キューイング遅延とは、他の伝送が使用している共有資源が空くのを待っているのに費やされる時間を指す。これらの遅延時間はすべて、データ通信ネットワーク性能の異なる側面を評価するために有用である。

【００１６】

他のネットワーク性能基準として、パケットジッタおよび帯域幅遅延積の２つがある。パケットジッタとは、通常の速度で到着する予定のパケットの到着時間のばらつきであり、通常は秒の時間単位で測定される。帯域幅遅延積とは、送った最初のビットが実際に受信機に到達する前に送信機から送ることのできるビット数である。帯域幅遅延積は、あるリンクのパケット待ち時間に同一リンクの帯域幅を乗じることによって求められる。

【００１７】

ハンドオフは、ワイヤレスデータネットワークにおいて、ユーザが１つのアクセスポイントの範囲から別のアクセスポイントの範囲へと移動したときに起こる。この状況において、第１のアクセスポイントは、ワイヤレスユーザにデータを届ける責任を第２のアクセスポイントに引き継がなければならない。ハンドオフ時間とは、アクセスポイントが別のアクセスポイントと協調して、ワイヤレスユーザが１つのアクセスポイントから別のアクセスポイントに接続することを可能にするために必要とする時間である。

【００１８】

データ通信ネットワークの性能統計を、データ通信ネットワークの耐用年限にわたって測定するために、ソフトウェアユーティリティおよびハードウェアデバイスが開発されている。より一般的で関連のあるツールのいくつかをここで概説する。

【００１９】

コンピュータユーザがある接続のおおよそのネットワーク性能を迅速に測定できるように、多数のコマンドラインツールが利用可能である。多くのコマンドラインプログラムが、ウィンドウズ（登録商標）、ＵＮＩＸ（登録商標）、およびマッキントッシュオペレーティングシステム上で広く用いられており、データネットワーク上での診断および問題解決作業にいくらか役立っている。これらのコマンドラインプログラムの例には、ｐｉｎｇおよびｔｒａｃｅｒｏｕｔｅがある。ｐｉｎｇコマンドラインプログラムを用いると、異なるデータネットワークデバイス間のおおよそのデータ待ち時間を測定し、その２つのデバイス間でネットワーク接続ができていることを確認することが可能である。ネットワーク接続は、ネットワークパケットを送信機から受信機へ中継する個々のデバイスから構成されることが多い。これは、ネットワーク接続が、元の送信機と意図する受信機との間における数回の実際の伝送から構成され得ることを意味する。個々の中継がリンクと呼ばれる。通常、完全なネットワーク接続はいくつかのリンクからなる。したがって、ｔｒａｃｅｒｏｕｔｅを用いると、送信機と受信機の間の中継デバイスから中継デバイスへの考えられる経路を求めることができるため、ネットワーク伝送が用いる正確なリンクが分かる。さらに、ｔｒａｃｅｒｏｕｔｅを用いると、個々のリンクを渡るために必要な時間を測定することができ、かつ正確に機能していない可能性のある個々のリンクを特定することができる。

【００２０】

依然として概算ではあるものの幾分より精確なネットワーク測定タスクのために、オペレーティングシステムに付属されていない様々なコマンドラインツールも開発されている。これらのツールの数例として、ｔｔｃｐ、およびｔｃｐｄｕｍｐがある。ｔｔｃｐとは、Ｔｅｓｔ　ＴＣＰ（ＴＣＰをテスト）の略語であり（ｈｔｔｐ：／／ｗｗｗ．ｐｃａｕｓａ．ｃｏｍ／Ｕｔｉｌｉｔｉｅｓ／ｐｃａｔｔｃｐ．ｈｔｍ）、本来はＢＳＤリナックスオペレーティングシステム用に書かれた無料ユーティリティであるが、現在は他のＵＮＩＸ（登録商標）オペレーティングシステムならびにマイクロソフトウィンドウズ（登録商標）用にも入手可能である。ｔｔｃｐは、ユーザがバッファサイズ、様々な下位レベルのＴＣＰまたはＵＤＰオプションを制御し、かつ送出する正確なデータを制御することを可能にする基本的なポイントツーポイントのスループット測定プログラムである。

【００２１】

ｔｃｐｄｕｍｐは、パケットスニファと呼ばれる種類のツールである単純なユーティリティである。パケットスニファは、ネットワーク管理者がネットワーク上の実際のパケットの内容（ヘッダおよびフッタ情報を含む）を見ることを可能にする。ｔｃｐｄｕｍｐは、ユーザが、ホストにより受信されたパケット（必ずしもそのホストに宛てられたものではないが）を見て（すなわち「スニフして（嗅ぎまわって）」）、ユーザが構成可能な特定のパターンに一致する全てのヘッダを表示することを可能にする。ｔｃｐｄｕｍｐは、ユーザが正確なネットワークトラフィックを直接見ることを可能にするため、ネットワーク接続の問題解決に有用なツールである。

【００２２】

Ｐａｔｈｃｈａｒは、ＵＮＩＸ（登録商標）用コマンドラインユーティリティであり、送信するテストパケットのサイズを変え、様々なネットワークポイントへのそのパケット伝送の待ち時間を測定することによって、データ通信ネットワーク内の各ネットワーク中継デバイス（たとえばルータ、ハブまたはスイッチ）間のスループットを測定することができる。このツールの機能は、ｔｒａｃｅｒｏｕｔｅとよく似ているが、待ち時間だけでなくスループットをも（間接的にではあるが）測定する能力を付加している。Ｐａｔｈｃｈａｒは、それが測定を行うリンクにおけるネットワークハードウェアによってのみ制限される。このプログラムは、テストパケットに対して確認応答を送信するためのハブ、スイッチまたはコンピュータを必要とする。これは、ｐａｔｈｃｈａｒが、確認応答を伝送しないイーサネット（登録商標）ブリッジなどの隠れリンクを個別に測定できないことを意味する。

【００２３】

ネットワークの測定、監視、追跡および予測ユーティリティを数社が製造している。一般的に使用されるユーティリティのいくつかを以下に述べる。選択したツールは、最新技術のネットワーク性能測定および資産追跡の例である。

【００２４】

ネットビズ社（ｎｅｔＶｉｚ　Ｃｏｒｐｏｒａｔｉｏｎ）製のネットビズ（ｎｅｔＶｉｚ）は、ネットワーク管理者がネットワーク機器をその物理的場所および論理レイアウトに関して追跡することを可能にする視覚的データベースプログラムである。このプログラムは、ユーザがネットワークの設定、場所、および構成を入力し、ネットワーク内の資産を追跡することを可能にする。このツールは、このデータを２次元の地図またはビルの間取図に格納することが可能であるが、デバイスを３次元で追跡することはできない。またこのツールは、ネットワークのテスト、測定または監視機能を提供せず、データ通信ネットワークの通信予測または性能可視化機能もサポートしない。これは単に、資産の精確で有用な追跡のためのデータベースである。

【００２５】

ネットアイキュー社（ＮｅｔＩＱ　Ｃｏｒｐｏｒａｔｉｏｎ）（旧社名ガニミードソフトウェア社（Ｇａｎｙｍｅｄｅ　Ｓｏｆｔｗａｒｅ，　Ｉｎｃ．））は、シャリオット（Ｃｈａｒｉｏｔ）と呼ばれるネットワーク監視および予測ツールを製造している。シャリオットでは、現在利用可能である一般的なネットワークタイプ、オペレーティングシステムお

よびプロトコルすべてのスループットおよび他の多くのネットワーク統計を測定することができる。このプログラムは、サーバおよびいくつかの小さなエージェントプログラムを用いてデータを収集する。サーバは、ネットワーク中のユーザのコンピュータにインストールされた各エージェントを定期的にチェックし、それらを用いてネットワーク特性を測定する一方でその結果をサーバに格納する。これらのエージェントは、サーバへの、または互いに対するネットワーク接続を測定することができ、かつ、任意のネットワークプログラムのトラフィックパターンおよび１人または複数の仮想ユーザの任意の所望の使用パターンをシミュレートすることができる。このプログラムは、測定データを使用して、予期されるネットワークのトラフィックおよび状況を予測することも可能である。

【００２６】

ビソネル社（Ｖｉｓｏｎａｅｌ　Ｃｏｒｐｏｒａｔｉｏｎ）（旧社名ネットスイートデベロップメント社（ＮｅｔＳｕｉｔｅ　Ｄｅｖｅｌｏｐｍｅｎｔ　Ｃｏｒｐｏｒａｔｉｏｎ））は、ネットスイート監査、設計およびアドバイザ（ＮｅｔＳｕｉｔｅ　Ａｕｄｉｔ，　Ｄｅｓｉｇｎ　ａｎｄ　Ａｄｖｉｓｏｒ）を含むいくつかのネットワーク追跡および測定製品を製造している。これらのソフトウェア製品は、使用中のネットワーク機器の自動検出が可能である。この情報ならびに手入力情報は次に、ネットワークの物理または論理図に組み込むことができる。ビソネルは、ネットワークが適切に構成されていることを確認する製品も販売しており、ネットワークに対して構成変更およびアップグレードを提案することができる。これらのソフトウェア製品は、性能をサイト固有の様式で予測または測定することができず、ワイヤレスベースのデータ通信ネットワークの性能を予測することは不可能である。

【００２７】

セイフコテクノロジーズ社（ＳＡＦＣＯ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ，　Ｉｎｃ．）（現在はアジレントテクノロジーズ（Ａｇｉｌｅｎｔ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ）の一部）は最近、いくつかのワイヤレスデータ測定および予測製品を開発した。セイフコは、データプリント（ＤａｔａＰｒｉｎｔ）と呼ばれる製品を製造している。この製品は、携帯電話データネットワークの様々なデータ性能パラメータを測定するために用いられる。同社のウィザード（ＷＩＺＡＲＤ）（登録商標）製品もまた、ワイヤレスデータ伝送がワイヤレス電話網の全体的な容量およびサービス品質に及ぼす影響の解析をサポートする。

【００２８】

ワイヤレス　ヴァレー　コミュニケーションズ社（Ｗｉｒｅｌｅｓｓ　Ｖａｌｌｅｙ　Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ，　Ｉｎｃ．）は、サイトプランナー（ＳｉｔｅＰｌａｎｎｅｒ）と呼ばれる新しい概念を開発した。サイトプランナーは、データ通信ネットワークのサイト固有のネットワーク性能を環境の物理的に精確な３次元モデルにおいて測定および追跡することが可能である。サイトプランナーは、ＬＡＮフィールダ（ＬＡＮＦｉｅｌｄｅｒ）と呼ばれるソフトウェアモジュールを用いて、任意のインターネットプロトコル（ＩＰ）データ通信ネットワークにおける任意の有線またはワイヤレスネットワーク接続のスループット、パケット待ち時間およびパケット誤り率を測定する。さらに、サイトプランナーは、完全なネットワークを物理的に精確な様式でモデル化することを可能にするので、正確な測定および性能予測をサイト固有の方法で行うことができる。サイトプランナーはまた、ネットワークの論理レイアウトを物理レイアウトと同時に格納することを可能にする。このツールはまた、資材仕様書フォーマットを用いて、論理的な相互接続と、任意の通信ネットワークのサイト固有のモデルとの両方を格納する。

【００２９】

ネットワーク測定および資産管理ツールに加えて、ワイヤレスデータ通信ネットワーク性能の分野ではたくさんの研究が行われている。以下で説明する研究は、本発明の分野に関する業績を表す。

【００３０】

キシロメノス（Ｘｙｌｏｍｅｎｏｓ）とポリゾス（Ｐｏｌｙｚｏｓ）は、キシロメノスジー．、ポリゾス　ジー．シー．著，「ワイヤレスＬＡＮ上におけるＴＣＰおよびＵＤＰ

の性能」，ＩＥＥＥ　ＩＮＦＯＣＯＭ議事録，１９９９年（Ｘｙｌｏｍｅｎｏｓ，Ｇ．，Ｐｏｌｙｚｏｓ，Ｇ．Ｃ．”ＴＣＰ ａｎｄ ＵＤＰ Ｐｅｒｆｏｒｍａｎｃｅ ｏｖｅｒ ａ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ ＬＡＮ” Ｐｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ ｏｆ ＩＥＥＥ ＩＮＦＯＣＯＭ，１９９９）において、いくつかの固定ＩＥＥＥ８０２．１１ワイヤレスＬＡＮネットワーク接続により送られるＵＤＰおよびＴＣＰパケットの性能を探究した。この研究は、ソフトウェア実施の問題およびオペレーティングシステムの欠点により生じるスループット限界に焦点を置いた。当該研究者らは、独自の修正バージョンのコマンドラインユーティリティｔｔｃｐ、ｔｃｐｄｕｍｐおよびｎｓｔａｔをリナックスで用いて、ＵＤＰおよびＴＣＰのスループットテストを行った。測定値はすべて固定された３箇所の間でとり、ワイヤレスＬＡＮカードのタイプ（ＰＣＭＣＩＡまたはＩＳＡ）およびエンドユーザコンピュータのハードウェア（すなわちペンティアム（登録商標）１５０と４８ＭＢのＲＡＭに対してペンティアム（登録商標）２００ＭＭＸと６４ＭＢのＲＡＭ）の変更に焦点を置いた。当該研究者らが出した結論は、ネットワークプロトコルの実施の変更の推奨およびリナックスオペレーティングシステムの向上である。測定は、ネットワークスループットに及ぼされる異なる物理的場所の影響やワイヤレス通信チャネルの違いの影響を考慮しなかった。

【００３１】

前田、高谷および桑原は、ワイヤレスＬＡＮ性能の測定およびワイヤレスＬＡＮネットワークの性能を予測するためのレイトレーシング技法の検証を発表した（前田裕二、高谷和宏、桑原伸夫著，「様々な屋内環境における２．４ＧＨｚ　ＩＳＭ帯ワイヤレスＬＡＮの伝播特性の実験的検討」，通信に関するＩＥＩＣＥ紀要，１９９９年１０月，第Ｅ８２－Ｂ巻，第１０号（Ｍａｅｄａ，Ｙ．，Ｔａｋａｙａ，Ｋ．，ａｎｄ Ｋｕｗａｂａｒａ，Ｎ．，”Ｅｘｐｅｒｉｍｅｎｔａｌ Ｉｎｖｅｓｔｉｇａｔｉｏｎ ｏｆ Ｐｒｏｐａｇａｔｉｏｎ Ｃｈａｒａｃｔｅｒｉｓｔｉｃｓ ｏｆ ２．４ ＧＨｚ ＩＳＭ－Ｂａｎｄ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ ＬＡＮ ｉｎ Ｖａｒｉｏｕｓ Ｉｎｄｏｏｒ Ｅｎｖｉｒｏｎｍｅｎｔｓ，” ＩＥＩＣＥ Ｔｒａｎｓａｃｔｉｏｎｓ ｉｎ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ，Ｖｏｌ．Ｅ８２－Ｂ，Ｎｏ．１０ Ｏｃｔ １９９９）。測定値は、小さい高度の無線周波数（ＲＦ）制御環境で追跡し、ワイヤレスＬＡＮスループットおよびＢＥＲがワイヤレスチャネルの遅延スプレッドと相関していることを示した。しかしながら当該研究者らは、レイトレーシング技法が出力する予測遅延スプレッドプロファイルから実際にビット誤り率やスループットを予測する方法を何ら示していない。

【００３２】

デュシャン（Ｄｕｃｈａｍｐ）およびレイノルズ（Ｒｅｙｎｏｌｄｓ）は、デュシャンディー．、およびレイノルズ　エヌ．エフ．著，「ワイヤレスＬＡＮの測定性能」，ローカルコンピュータネットワーク，第１７回会議（１９９２年）議事録，１９９２年（Ｄｕｃｈａｍｐ，Ｄ．，Ｒｅｙｎｏｌｄｓ，Ｎ．Ｆ．，”Ｍｅａｓｕｒｅｄ Ｐｅｒｆｏｒｍａｎｃｅ ｏｆ ａ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ ＬＡＮ，” Ｌｏｃａｌ Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ，１９９２．Ｐｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ．，１７ｔｈ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ ｏｎ，１９９２）において様々な距離でのＩＥＥＥ８０２．１１ワイヤレスＬＡＮのパケットスループット測定結果を示した。これらの測定は、単一の通路において行われた。したがって、これらの測定値もまた、代表的な環境を測定できていない。当該研究者らは、自身の結果を予測するためのモデルを示さず、いかなる種類のコンピュータ予測手法も検証しようとしなかった。

【００３３】

ビング（Ｂｉｎｇ）もまた、「ＩＥＥＥ８０２．１１ワイヤレスＬＡＮの測定性能」，ローカルコンピュータネットワーク，ＬＣＮ‘９９会議（１９９９年），１９９９年（”Ｍｅａｓｕｒｅｄ Ｐｅｒｆｏｒｍａｎｃｅ ｏｆ ｔｈｅ ＩＥＥＥ ８０２．１１ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ ＬＡＮ，” Ｌｏｃａｌ Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ，１９９９．ＬＣＮ ’９９．Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ ｏｎ，１９９９）においてＩＥＥＥ８０２．１１ワイヤレスＬＡＮの性能の測定結果を示した。ビングは、様々なワイヤレスＬＡＮ構成の

遅延およびスループット測定値ならびに理論に基づくスループットおよび遅延時間の作表を示す。しかしながら、この結果は最適結果として与えられる。測定はすべて、ワイヤレスチャネルが全体的なスループットおよび遅延時間に及ぼす影響を可能な限り最小とするような方法で行われた。したがって、示された結果は可能な限り最良な結果の上限であり、サイト固有のワイヤレスＬＡＮ性能の予測手法にまで拡張されない。

【００３４】

ホープ（Ｈｏｐｅ）およびランジュ（Ｌｉｎｇｅ）は、奥村モデルを用いて屋外環境におけるワイヤレスＬＡＮネットワークのカバレージエリアの予測に必要なパラメータを計算するために測定を用いた。当該研究者らは、標準的なＩＥＥＥ８０２．１１ワイヤレスＬＡＮモデムを用いて屋外測定を行って奥村モデルの必要なパラメータを計算し、これらの結果をホープ　エム．およびランジュ　エヌ．著，「屋外ＬＡＮ用途のＩＥＥＥ８０２．１１無線ＬＡＮの伝播範囲の算出」，ローカルコンピュータネットワーク，ＬＣＮ‘９９会議（１９９９年），１９９９年（Ｈｏｐｅ，Ｍ．ａｎｄ Ｌｉｎｇｅ，Ｎ．，”Ｄｅｔｅｒｍｉｎｉｎｇ ｔｈｅ Ｐｒｏｐａｇａｔｉｏｎ Ｒａｎｇｅ ｏｆ ＩＥＥＥ ８０２．１１ Ｒａｄｉｏ ＬＡＮ’ｓ ｆｏｒ Ｏｕｔｄｏｏｒ Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎｓ，”Ｌｏｃａｌ Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ，１９９９．ＬＣＮ ’９９ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ ｏｎ，１９９９）に示した。これらの結果を用いれば、屋外のカバレージエリアを計算することができた。しかしながら、これらの結果では、ユーザがワイヤレスＬＡＮのスループットまたは待ち時間に関して性能を予測することはできない。

【００３５】

本発明に関連し本発明を可能にするいくつかの特許を以下に挙げる。

米国特許第５，４９１，６４４号「セルエンジニアリングツールおよび方法（Ｃｅｌｌ Ｅｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ Ｔｏｏｌ ａｎｄ Ｍｅｔｈｏｄｓ）」（出願人エル．ダブリュー．ピカリング（Ｌ．Ｗ．Ｐｉｃｋｅｒｉｎｇ）ら）

米国特許第５，５６１，８４１号「統計シミュレーション結果に基づいてデジタルマップ上にモデルを作成し、特性を付加してパラメータを最適化することによってセル式無線ネットワークをプランニングする方法及び装置（Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ Ａｐｐａｒａｔｕｓ ｆｏｒ Ｐｌａｎｎｉｎｇ ａ Ｃｅｌｌｕｌａｒ Ｒａｄｉｏ Ｎｅｔｗｏｒｋ ｂｙ Ｃｒｅａｔｉｎｇ ａ Ｍｏｄｅｌ ｏｎ ａ Ｄｉｇｉｔａｌ Ｍａｐ Ａｄｄｉｎｇ Ｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ ａｎｄ Ｏｐｔｉｍｉｚｉｎｇ Ｐａｒａｍｅｔｅｒｓ，Ｂａｓｅｄ ｏｎ Ｓｔａｔｉｓｔｉｃａｌ Ｓｉｍｕｌａｔｉｏｎ Ｒｅｓｕｌｔｓ）」（出願人オー．マルクス（Ｏ．Ｍａｒｋｕｓ））

米国特許第５，７９４，１２８号「ワイヤレス情報伝送システムの現実的なシミュレーションのための装置およびプロセス（Ａｐｐａｒａｔｕｓ ａｎｄ Ｐｒｏｃｅｓｓｅｓ ｆｏｒ Ｒｅａｌｉｓｔｉｃ Ｓｉｍｕｌａｔｉｏｎ ｏｆ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ Ｔｒａｎｓｐｏｒｔ Ｓｙｓｔｅｍｓ）」（出願人ケー．エイチ．ブロッケル（Ｋ．Ｈ．Ｂｒｏｃｋｅｌ）ら）

米国特許第５，９４９，９８８号「ＲＦ電力分配のための予測システム（Ｐｒｅｄｉｃｔｉｏｎ Ｓｙｓｔｅｍ ｆｏｒ ＲＦ Ｐｏｗｅｒ Ｄｉｓｔｒｉｂｕｔｉｏｎ）」（出願人エフ．フェイスリン（Ｆ．Ｆｅｉｓｕｌｌｉｎ）ら）

米国特許第５，９８７，３２８号「ワイヤレスネットワークにおける送信機の配置のための方法およびデバイス（Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ Ｄｅｖｉｃｅ ｆｏｒ Ｐｌａｃｅｍｅｎｔ ｏｆ Ｔｒａｎｓｍｉｔｔｅｒｓ ｉｎ Ｗｉｒｅｌｅｓｓ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ）」（出願人エー．エフレミデス（Ａ．Ｅｐｈｒｅｍｉｄｅｓ）およびディー．スタマテロス（Ｄ．Ｓｔａｍａｔｅｌｏｓ））

米国特許第５，５９８，５３２号「コンピュータネットワークを最適化する方法および装置（Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ Ａｐｐａｒａｔｕｓ ｆｏｒ Ｏｐｔｉｍｉｚｉｎｇ Ｃｏｍｐｕｔｅｒ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ）」（出願人エム．リロン（Ｍ．Ｌｉｒｏｎ）ら）

米国特許第５，９５３，６６９号「ワイヤレス通信システムにおいて信号特性を予測する方法および装置（Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ Ａｐｐａｒａｔｕｓ ｆｏｒ Ｐｒｅｄｉｃｔｉｎ

g Signal Characteristics in a Wireless Communication System）」（出願人ジー．ストラティス（G. Stratis）ら）
米国特許第６，０６１，７２２号「通常のネットワーク動作を干渉しないネットワーク性能の評価（Assessing Network Performance without Interference with Normal Network Operations）」（出願人ダブリュー．ジェイ．リパ（W. J. Lipa）ら）
米国特許第５，８３１，６１０号「ネットワークの設計（Designing Networks）」（出願人ディー．エル．トネリ（D. L. Tonelli）ら）
米国特許第５，８２１，９３７号「ネットワーク設計を更新するコンピュータ方法（Computer Method for Updating a Network Design）」（出願人トネリら）
米国特許第５，８７８，３２８号「ワイヤレス通信システム組織のための方法と装置（Method and Apparatus for Wireless Communication System Organization）」（出願人ケー．ケー．チャウラ（K. K. Chawla）ら）

【００３６】

米国特許出願第０９／３５２，６７８号、同第０９／２２１，９８５号、同第０９／３１８，８４２号、同第０９／３１８，８４１号、同第０９／３１８，８４０号および上記で引用した他の発明に記載される既存の製品であるサイトプランナーは、任意の物理的場所の任意の通信ネットワークに直接関連する無線周波数の影響を予測することができるため、通信ネットワークを設計、測定および最適化するために有用である。すなわち、任意の通信ネットワークの物理的レイアウトとそのハードウェア構成に関する情報を用いて、従来技術は、モデル化した任意の物理的場所について、予期される受信信号強度（ＲＳＳＩ）、信号対雑音比（ＳＮＲ）、相対的受信電力強度、最良のサーバ、および電力の等しい場所、ならびに音声およびデータネットワークの他の有用なパラメータの視覚ディスプレイを提供することができる。これらの統計値は、ワイヤレスネットワークの順方向リンク（送信機から受信機へ）の方向について、または逆方向リンク（元の受信機から元の送信機への応答）の方向について予測することができる。これらの予測のサイト固有の性質は、通信ネットワーク品質の迅速で有用な視覚化に直接つながる。しかしながら従来技術は、実際のネットワーク動作性能パラメータの値の算出に通じる複雑性を適切にモデル化する（たとえば予測する）方法を考慮しない。これらの実際のネットワーク動作性能パラメータは同時に、マルチパス伝播、複数の情報源からの複数の干渉データ送信、シグナリングプロトコル、等化法などの影響を受ける。実際のサイト固有の環境の３Ｄ物理モデルにおけるビット誤り率、データスループット、遅延、およびサービス品質のメトリックの予測は非常に難しいタスクであり、これまでに解決されていないタスクである。これは、異なるモデムベンダーが、マルチパス、多元接続干渉、プロトコルタイプ、パケットサイズ、および雑音を緩和または処理するために異なる往々にして独自の方法を有するからである。すなわち、最新技術は、基本的な通信メトリックの測定および表示および予測を行う方法を示すが、広範で重要なデータネットワーク性能パラメータについて特定の予測アルゴリズムを信頼性のあるサイト固有の方法で提供することはない。簡潔に言えば、精確にモデル化した３Ｄ物理環境を考慮することができ、かつ特定のコンポーネントレイアウトの知識を利用するワイヤレスネットワーク性能予測エンジンは、従来技術に見られず、自明でない。これは、ネットワーク中の全てのコンポーネントについて考え得る全ての物理的、電気的、および論理的要因、ならびに実際のネットワーク性能につながる有線またはワイヤレスネットワークのチャネル内の要因を考慮しなければならないという複雑性のためである。

【００３７】

通信ネットワークの分野で以前に発表された論文は、３次元のサイト固有のネットワーク性能基準を精確に予測するいずれの発明の能力も実証しない。前田裕二、高谷和宏、桑原

伸夫による上記論文「様々な屋内環境における２．４ＧＨｚ　ＩＳＭ帯ワイヤレスＬＡＮの伝播特性の実験的検討」，通信に関するＩＥＩＣＥ紀要，１９９９年１０月，第Ｅ８２－Ｂ巻，第１０号（”Ｅｘｐｅｒｉｍｅｎｔａｌ　Ｉｎｖｅｓｔｉｇａｔｉｏｎ　ｏｆ　Ｐｒｏｐａｇａｔｉｏｎ　Ｃｈａｒａｃｔｅｒｉｓｔｉｃｓ　ｏｆ　２．４　ＧＨｚ　ＩＳＭ－Ｂａｎｄ　Ｗｉｒｅｌｅｓｓ　ＬＡＮ　ｉｎ　Ｖａｒｉｏｕｓ　Ｉｎｄｏｏｒ　Ｅｎｖｉｒｏｎｍｅｎｔｓ，”　ＩＥＩＣＥ　Ｔｒａｎｓａｃｔｉｏｎｓ　ｉｎ　Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ，　Ｖｏｌ．　Ｅ８２－Ｂ，　Ｎｏ．　１０　Ｏｃｔ　１９９９）は、ワイヤレスチャネルの遅延スプレッドを予測する能力、および予測がスループットと大きく相関することを実証したが、記載された方法は、スループットまたはいずれか他のネットワーク性能基準を実際に予測することができない。いくつかの従来技術が、ネットワーク資産を２次元の様式でいくらかの物理的精度を持って追跡する能力を実証したが、これらの製品は、同様の、または異なる物理環境（たとえば設置）について将来のネットワーク性能を予測する能力を検討していない。多くの製品はネットワーク性能基準の測定を可能にするが、ネットワーク性能パラメータの予測を目的とした物理的な設置コンポーネントベースを有する物理環境の３Ｄ表現を検討している従来技術はない。さらに、３次元のサイト固有の方法でデータ通信ネットワークを直接測定し、その資産を追跡し、そのネットワーク性能基準を予測し、かつそのネットワーク性能基準を視覚化することのできるツールや発明は存在しない。

【００３８】

さらに、従来技術はいずれも、既存のネットワークからの事前測定値を用いて、またはデータ通信ネットワーク内の特定のコンポーネントのサイト固有のレイアウト詳細を用いることによって複雑なネットワークパラメータの正確なサイト固有の３次元の性能予測を行うことのできる発明を考慮していない。さらに、従来技術はいずれも、複数のエージェントからなるシステムを用いて実際のネットワークシステムまたはサブシステムからのサイト固有のネットワーク性能パラメータを自発的に測定し、次に特定の３Ｄの場所および上記測定エージェントの測定結果を適用して、同一の、同様の、または異なる物理環境における将来のネットワーク性能の３Ｄ予測モデルを作成していない。さらに、従来技術はいずれも、現場でネットワーク性能パラメータを測定する能力を有し、かつネットワーク性能パラメータの予測エンジンを生成する能力を有する、測定エンジンおよび予測エンジンからなる階層システムを開発していない。上記ネットワーク性能パラメータは、３Ｄのサイト固有の様式でネットワーク性能の測定および予測目的で遠隔の予測エンジンと共有することができる。

【００３９】

本発明は、従来技術を非自明的な方法で拡張し、ワイヤレスおよび有線ネットワーク性能の予測、視覚化および測定を、スループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間といった重要なデータ通信固有の性能基準（性能パラメータとも呼ばれる）についてサイト固有の３次元で精確な方法で提供する。本明細書で検討する発明は、上記性能パラメータの新規の分散測定技法を可能にする。さらに、ネットワーク測定値または他の手段から導き出した適用値を用い、また予測される性能パラメータ値の計算のために無線周波数環境、３Ｄの物理的ネットワークレイアウト、サイト固有の環境のチャネル伝播特性、およびコンポーネントの特定の物理レイアウトも用いた上記性能パラメータの予測法を開発する。

【００４０】

［発明の概要］

本発明は、データ通信ネットワークの性能を予測、測定、および最適化することが可能である。本発明は、完全に配備した、または意図する通信ネットワークの詳細レイアウトを、３次元環境の物理的に精確なコンピュータ表現すなわちモデル内で表現することが可能である。これにより本発明は、物理環境のサイト固有の表現内で測定値を格納し、かつ性

能予測値を求め、その一方で実際の、または意図するネットワークを作るために用いるネットワークエンティティ、コンポーネント、サブシステム、およびシステムに関する特定の情報を用いることが可能となる。既知の、または割り当てられた３Ｄ位置の場所を有する測定エージェントを用いて、サーバプロセッサに送信される現場性能パラメータを測定する。サーバプロセッサは、その環境の精確な３Ｄモデルを有し、測定データを処理することができ、かつ、測定データに無関係であるか、または測定データを利用し得るサイト固有の情報を用いて予測モデルを提供することができる。サーバプロセッサは、他のサーバプロセッサと階層状に通信することができ、多くの遠隔または連結ネットワークからのデータ融合が整理されて、測定値の表示および目録作成に用いられるようになっている。この測定値は、予測性能モデルの作成に用いられるかもしれないし、用いられないかもしれない。あるいは、各サーバプロセッサは、物理的コンポーネントのサイト固有のレイアウト、ならびに物理的ネットワーク内の特定の遅延時間、転送時間、伝播効果、ならびにマルチパスおよび雑音の要因を単に考慮することによって、測定データを用いずに予測性能モデルを計算することができる。

【００４１】

本発明は、スループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間を任意の環境のサイト固有の３次元モデルにおいて予測することができる。本発明は、上記性能基準をすべて測定および予測し、その結果をデータ通信ネットワークと、それが設置される環境との物理的に精確な３次元モデルに格納することができる。さらに本発明は、任意のデータ通信ネットワークの測定および予測性能基準をその環境の３次元のサイト固有のモデル中に表示することができる。これらの機能は、当業者がこれまでに検討されることがなかった方法を用いてデータネットワーク通信性能基準を３次元でサイト固有の方法で迅速かつ容易に設計、測定、予測、最適化および視覚化することを可能にする強力な設計環境を有線およびワイヤレスネットワークに提供する。

【００４２】

［発明の好適な実施形態の詳細な説明］

本発明は、データ通信ネットワークの性能を設計、測定、予測および最適化する能力を意図する。本発明は、コンピュータデータベース環境に格納される通信ネットワークの、コンピュータが作成した精確な３次元モデルを用いる。本発明は、ユーザがネットワークケーブル、ハブ、ルータ、スイッチ、ブリッジ、ワイヤレスアクセスポイント、増幅器、スプリッタ、アンテナ（ポイント、全方向性、方向性、漏れフィーダ、分散、アレイ等）送信機、終端器および他の通信およびコンピュータネットワーキング機器を実際のモデル化された物理的場所に配置することを可能にする。本発明は、このインフラの物理的レイアウトの非常に精確なモデルを用いて、ユーザが任意の通信ネットワークの性能を３Ｄのサイト固有にモデル化した任意の物理的場所で視覚化、予測および最適化することを可能にする。

【００４３】

本発明のこの実施形態は、論理接続と物理的場所の視点との両方からサイト固有の通信ネットワークハードウェアをモデル化することが可能である。本発明は、データ通信ネットワークに適した既知の階層的な論理接続の概念（位相レイアウトと呼ばれることもある）を、データ通信ネットワークの物理的に精確なサイト固有のモデルと組み合わせて用いる。以前の発明は、ネットワークコンポーネントの互いの位相または関係レイアウトのみに焦点を置いていた。本発明は、特定の３Ｄモデル化を用い、よって実際に設置された機器の非常に精確な資産管理および設備追跡を可能にすると同時に、ネットワークの正確な物理的寸法を利用するネットワーク性能の予測、測定、および設計機能を提供する。さらに本発明は、ネットワーク中で用いられる全オブジェクトの重要なネットワーク固有の特性および機器固有の特性（ベンダー、型番、ネットワークハードウェアのタイプ、オペレーティングシステムのバージョン、ファームウェアおよびソフトウェアのタイプおよびバー

ジョンなど）の登録簿を同時に格納する。ネットワークの階層状のツリーベースのモデルをレイアウト表示と呼ぶ。ネットワークの物理的に精確なサイト固有のモデルをサイト表示と呼び、ここで各デバイスの属性は、３Ｄ環境モデル内の特定の項目またはノードを選択することによって表示、格納または印刷することができる。さらに、ネットワークハードウェアおよびソフトウェアコンポーネントは、レイアウト表示またはサイト表示を用いて、リアルタイムで対話的に交換、除去、再構成または新しい場所に移動することができる。真の空間的位置の精確な寸法を有する環境の３Ｄのサイト固有のモデルにおいてネットワークを追跡および設計するこれらの方法はそれぞれ、以下でさらに詳述し、モデル化したデータ通信ネットワークの資材仕様書を作成するために用いる。ここで、好ましい実施形態は、２０００年８月４日に提出された同時係属中の特許出願「コンポーネント属性を考慮した通信ネットワークの設計または配備のための方法およびシステム（Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ ｓｙｓｔｅｍ ｆｏｒ ｄｅｓｉｇｎｉｎｇ ｏｒ ｄｅｐｌｏｙｉｎｇ ａ ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ ｎｅｔｗｏｒｋ ｗｈｉｃｈ ｃｏｎｓｉｄｅｒｓ ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ ａｔｔｒｉｂｕｔｅｓ）」に記載する。

【００４４】

データ通信ネットワークの階層レイアウトであるレイアウト表示に含まれるいくらかの情報の一例を図４に示す。この図では、ツリー構造を用いてネットワーク中の全てのハードウェアを表示する。ツリー中の各ノードは、データ通信ネットワークハードウェアの真の物理的場所、論理レイアウトおよび電気的、光学的および電磁的な接続、ならびにそのネットワーク機器上で動作するソフトウェアまたはファームウェアの任意のバージョン番号および設定と、当該機器の既知の性能パラメータとを追跡するために用いられる情報を含む。機器の既知の性能パラメータには、デバイスのスループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間が含まれる。

【００４５】

本発明のサイト表示は、ネットワークが位置する環境のサイト固有のモデル中に全てのネットワークデバイスを表示するための物理的に精確で３次元のモデル化機能を有する。すなわち、本発明の好ましい実施形態は、モデル化した各ハードウェアおよびソフトウェアデバイスを３次元的に精確な様式で配置し、かつ、データ通信ネットワークに関連するそのデバイスの属性を追跡することを可能にする。これらの主要な属性には、ハードウェアタイプ、ハードウェア構成、ソフトウェアタイプ、ソフトウェア構成、オペレーティングシステムのバージョン、ならびに各コンポーネントの上限、下限および「通常」の規格のような項目が含まれる。これらの規格には、重要なデバイスまたはネットワークサブシステムの動作パラメータ、たとえばスループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間が含まれ得る。後述のように、サイト表示は、これによって問題点を考慮し、より複雑なデータ通信ネットワークのデータネットワークの予測、設計および最適化問題を解決することによって、ワイヤレス ヴァレー コミュニケーションズ社による上記の同時係属中特許出願に記載される従来技術に取って代わるものである。具体的には、新規の本発明は、単に無線信号強度、干渉、あるいはマルチパスのみよりも遥かに複雑な物理的要因に基づく性能特性を有する有線およびワイヤレス両方のデータネットワークシステムの物理的なサイト固有のモデル化手法ならびに性能予測方法および設計方法を考慮する。特に、データ通信ネットワークに関して、特定のネットワーク機器またはモデムの設計に関連する多くの付加的な要因、たとえばパケットサイズ、イコライザの配備、変調方法、ソースおよびエラーコーディング方法、パケットプロトコル、ならびに同一チャネルのネットワークユーザ数、パケットの再送信に用いる永続性のタイプ、あるいはワイヤレスシステムにおけるマルチパス伝播効果が、単に音声トラフィックだけでなくデータトラフィックのために設計される通信ネットワークの設計において考

慮しなければならない付加的な要因を提供する。

【００４６】

今日のネットワーク設計者またはネットワークシステムの管理者が直面する１つの問題点は、ほとんどのネットワーク機器が様々なネットワークデバイスを実施するために独自で非公開の方法を用いており、これらの方法は特定のベンダーによって異なるということである。したがって、たとえばワイヤレスネットワークにおける基本的な物理的伝播モデルを用いるだけでは信頼性のある予測モデルを形成することは困難である。ブルートゥース、ＤＳＬ、ＶｏＩＰ（Ｖｏｉｃｅ ｏｖｅｒ ＩＰ）、および将来のパケットベースのセルラー無線ネットワークアーキテクチャといったデータ伝送技術の拡散に伴い、特定のネットワーク性能パラメータを予測および測定する能力はますます重要になり、性能パラメータの３Ｄ予測モデルに測定値を正確に組み込む能力は、適切なネットワーク配備ために重要となる。

【００４７】

本発明は、回線交換式であって割り当てられた動作チャネルにつき専用の１人のユーザ（または制限数のユーザ）を用いる従来のセル電話や電話音声通信システムと比較した場合により広範で非自明的なモデル化を要するパケット交換データ通信ネットワークに関連する属性を考慮する。データ通信ネットワークは、パケットベースのシステムに固有であって、以前に検討された全タイプの通信ネットワークには役立たない性能基準を有する。こうした理由から、本発明の好ましい実施形態は、各ネットワークコンポーネントの特定の物理的および空間的場所、ならびに特定コンポーネントの物理的、電気的、および論理的属性を基にスループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間をさらに予測することができる。この性能予測方法は、作成した３Ｄモデル化環境内のネットワークの資材仕様書を用いて、３Ｄのモデル化環境内の物理的場所を含む全てのデバイスおよびネットワーク機器を考慮に入れ、かつ、モデル化したネットワークおよび環境内の任意の所望の場所について性能予測が可能である。ここで場所とは、ユーザの要件に応じて室内、室内の特定の場所、建物内、あるいは様々な粒度の屋外領域内であり得る。

【００４８】

スループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間ならびに他の性能パラメータの予測は、全ての有線ネットワークコンポーネントの性能をワイヤレスコンポーネントの性能とは別に予測し、次にそれらの結果を組み合わせて最終的なネットワーク性能を得ることによって行うことができる。有線通信リンクの性能を予測するには、特定のネットワーク設定について有線機器の各々の既知の効果（動作または性能パラメータとしても知られている）、たとえばプロトコルタイプ、データタイプ、パケットサイズ、およびトラフィック使用量特性、ファームウェアタイプ、オペレーティングシステムのタイプ、典型的なネットワーク性能特性、ならびにネットワーク上の通常、平均、ピーク、および最小のトラフィック負荷を組み合わせることが重要である。ワイヤレスネットワークコンポーネントの場合は、伝播、信号強度、干渉および雑音に関する付加的な要因を考慮しなければならない。

【００４９】

本発明の好適な実施形態は、データ通信ネットワークをいくつかの新規の方法で性能予測について精確に特徴付けることを可能にする。

【００５０】

まず、性能予測は、実際のネットワークからの現場測定を基にすることができ、ここで予測モデルは、測定データとのいくらかの一致から形成される（実験ベースのモデル）。これらの現場測定は、手動で、あるいはデータコレクタ、すなわちエージェントを用いて自

律的に行なうことができる。当該データコレクタ、すなわちエージェントは、その物理環境内で観測される特定のネットワーク性能メトリックを継続的に測定し更新する。これらのデータコレクタは、物理環境内の特定の３Ｄ位置の場所を測定することができるか、これを割り当てられる。この位置の場所は、ネットワークの物理環境をモデル化するために用いられるコンピュータモデル中の既知の位置に対応し、測定サーバに対して既知であるか、または伝送される。データコレクタは、上記性能パラメータのうちの１つまたは複数といった観測されるネットワーク性能を手動で、または自動的に記録または収集する個人であってもよく、あるいは測定エージェントは、上記で列挙した多数のネットワーク性能パラメータのうちの１つまたは複数を定期的に測定する目的のためにネットワークアプリケーションの最上層で動作するソフトウェアまたはハードウェアまたはファームウェアアプリケーションであってよい。エージェントは、固定であっても、あるいはポータブルであってもよく、また、ＧＰＳや慣性航法といった位置探索デバイス、またはユーザによって起動され得る内部マップを有することができ、測定位置の場所をサーバプロセッサに送るようになっている。エージェントは、一緒に置かれるか、または遠隔に位置するサーバプロセッサと二方向通信を持つものと仮定される。１つまたは複数のデータコレクタからの測定値は、定期的または周期的に収集され、次にワイヤレス手段または有線手段のいずれかにより、あるいはリアルタイム手段または格納された手段によりサーバプロセッサへ送信される。このサーバプロセッサは、一緒に置かれるか、あるいは測定エージェントのうちの１つまたは複数から遠隔して位置する。たとえば、測定値は、自律的エージェントによって記録され、次に固定ネットワークによりプロセッサへ送信され得る。このプロセッサは、全測定値を統合し、観測のための統計を計算する。測定源は、３Ｄの既知の位置を有するか、あるいは既知でなくて、観測したネットワーク性能の概算を求めるために用いられ得る。収集した測定値は、リアルタイムで送られ、格納および転送されるか、あるいは多くの手段、たとえば電子メール、ＷＷＷ（ｗｏｒｌｄ ｗｉｄｅ ｗｅｂ）、ワイヤレス、有線または光リンクを介して、あるいは記憶デバイスに入れてファイル転送として送られ得る。この「現場」測定データは、入手可能であれば３Ｄ位置の場所とともにサーバへと渡される。このサーバは、特定の測定情報の目録作成および処理を行う。データコレクタからの測定情報を用いると、サーバは、物理的な３Ｄ環境の知識を用いることによって、また世界の３Ｄの物理的表現に関連した性能の簡略化モデルに多くの収集した入力を融合することによって、予測モデルを提供することができる。

【００５１】

本発明の好ましい実施形態において、サーバは、全ての測定デバイスの物理的場所（入手可能な場合）ならびに全てのネットワークコンポーネントとそれらの電気的、論理的および技術的構成を格納および処理し、その一方で各ネットワークコンポーネントに関連するコストおよび保守問題も考慮する。好ましい実施形態を用いると、１つまたは複数のエージェントからの測定データを収集し、当該データをサーバで処理して、所望の結果を持った将来のネットワークレイアウトを設置前に可能とする適切な予測エンジンを決定することによって、データ通信ネットワークを設計、配備、テスト、予測、測定、最適化および維持することができる。サーバエンジンは、（サイト固有の情報を有する）各測定エージェントからサイト固有の様式で測定結果を表示することができるため、コンピュータの視覚ディスプレイ上で、あるいは記憶手段（たとえば予測性能パラメータを測定性能パラメータと比較するＡＳＣＩＩファイル）中で予測値を測定値と比較できるようになっている。

【００５２】

各測定エージェントは、測定データをネットワークコンポーネントおよび物理環境のサイト固有の３Ｄレイアウトと融合させることが可能なサーバであり得ることに留意することが重要である。したがって、各測定エージェントは、中央プロセッサの役目も果たすことができるため、特定のネットワークの多くの異なる物理的場所の性能を測定および予測することができる。この場合にサーバは、一緒に置かれるか、または測定エージェントから遠隔して位置し得る。この測定エージェントは、測定値を収集、表示、格納および使用し

て、予測モデルを形成する。測定エージェントから測定データを受信するリモートサーバの場合、特定のサーバプロセッサから物理的に非常に離れたネットワークの性能を遠隔に監視し、次に予測することが可能である。

【００５３】

測定エージェントは、サーバプロセッサがさらに制御または構成し得るため、異なるパケット伝送速度、観測間隔、平均間隔、プロトコルタイプ、または当業者が適切なネットワークの最適化に関して想像するような他の著しい変化といった異なるタイプの測定を行うように調整または命令され得る。

【００５４】

ネットワークパラメータの性能を予測する第２の方法は、解析またはシミュレーション方法の使用によるものである。これらの解析またはシミュレーション方法は既知であり、ネットワークチャネルの物理的および電気的特性を種々のネットワークコンポーネントの物理的および電気的特性と関係付ける。シミュレーションまたは解析により、特定コンポーネントの実際のネットワーク構成において予期される通常の値について近似値または境界を求めることが可能である。本発明のこの実施形態は、かかる計算の結果をユーザが入力することを可能にし、それらの結果を予測モデルに対する入力として適用するようになっている。したがって、本発明のユーザは、「ブラインド」値を既知の方法に基づいてネットワーク性能の予想モデルの形成に対する最初の推測手法として単に入力することができる。すると本発明は、実際のネットワークのサイト固有の測定値からのフィードバックに基づいて、これらの最初の推測値を繰り返すことができる。

【００５５】

ワイヤレスまたは有線ネットワークにおいて複数の送信機を有する通常の動作環境の測定データセットは、測定エージェントおよびサーバプロセッサに関する上記説明において教示したように、本発明が記録、格納および表示する。次に、以下に教示する式で与えられる予測モデルに何らかの形のベストフィットアルゴリズム（最小平均二乗、メジアンフィルタなど）を適用して、特定のサイト固有のネットワーク設計の正確な性能値（たとえば以下に挙げる性能パラメータ式中の定数または関数の正確な値）を求めるためのテーブル参照を行う。このテーブル参照法により、測定データを値に変換することができる。この値は次に、測定をしたのと同じサイト固有の３Ｄ環境内で行われる以降の全ての予測について予測データを導き出すために用いることができる。あるいは、特定の３Ｄモデル化ネットワーク環境について最良推測の性能メトリック値、すなわち以下に挙げる式中の関数または定数の最良推測値を、手動または自動のいずれかで、記憶手段あるいはワイヤレス手段または有線手段により遠隔の場所または一緒に置かれた場所から本発明に供給することもできる。ここで、３Ｄ環境を有する任意の空間または場所での予測性能は、最初の最良推測の予測モデルに基づくものである。以下で説明するように、これらの最初の最良推測、すなわち「ブラインド」モデルは、シミュレーション、解析、またはそれらの何らかの組み合わせに基づき得る。実験ベースの予測モデルおよび最初の最良推測の予測モデルは、測定または最良推測を行った環境とは異なる以降の環境に用いることができ、本発明は、モデルの目録をユーザが以降のネットワーク予測または設計のために簡単に用いることを可能にする。この場合、実際のネットワーク性能の測定値は、迅速な比較のため、ネットワーク予測パラメータと同時にオーバレイおよび表示および格納することができる。さらに、最適化ルーチンが、環境内の測定ネットワーク性能に一致する新しい予測モデルの最小誤差について最良の値を計算する。したがって本発明は、実際の設置または意図されるネットワークの３Ｄのサイト固有の構成内の実験的に導き出した予測性能パラメータまたは最初に推測したネットワーク性能パラメータをユーザが、ネットワークデバイスに関する特定の情報および物理的場所を用いて、また有線ネットワークおよびワイヤレス伝播、マルチパス、および雑音のモデルを用いることによって関係付けることを可能にする。本発明のモデル技法は、ネットワーク性能に影響を与える多くの要因を、無線／ワイヤレスおよび有線ネットワークに関する予測および測定ネットワーク性能と予測ネットワーク性能の比較を裏付けるより単純なモデルに融合する。したがって、性能予測を確認し、

測定ネットワーク性能と比較して、進行中のネットワーク配備に使用することができる。

【００５６】

さらに、測定したネットワーク性能メトリックを予測メトリックと比較することによって、本発明は、以前の予測モデルを便宜的な方法で更新するための新たな現場測定を可能にし、このことが、ローカルまたはリモートに格納されユーザに対して表示されるモデルの目録を提供する。あるいは、サーバの階層を用いると、遠隔に位置するサーバを用いることが可能である。この遠隔に位置するサーバは、かかる測定値および予測モデルを計算、送信、または受信して、モデルパラメータおよび結果をリモートで使用、表示、測定および格納する。これは、対象のネットワークから物理的に離れたネットワークの性能および設計を監視したいと願うネットワーク管理者にとって特に便利なものである。

【００５７】

特定のデバイスの所望の性能基準の測定は、好ましい発明において利用可能な測定ソフトウェアモジュールを用いることによって、あるいは別のソフトウェアまたはハードウェア測定ツールからログファイルを取り込むことによって達成される。好ましい発明における測定モジュールは、デバイス（単数または複数）の両側にインストールされてそこで動作する２つまたはそれ以上のソフトウェアプログラムを用いた通信ネットワークの任意の特定部分の性能の測定を可能にする。これらのソフトウェアプログラムはエージェントと呼ばれる。特定のネットワーク接続全体にわたる２つのエージェント間でテスト送信を送ることによって、好ましい発明は、いずれの特定の性能基準も測定することができる。これらの測定の結果は、ネットワークの特定部分について格納される。

【００５８】

本発明の好ましい実施形態は、ｔｒａｃｅｒｏｕｔｅといった他の測定プログラムのログファイルを取り込んで特定のリンクの測定を行うこともできる。この機能は、外部プログラムが生成したサイト固有の測定値をサイト固有に格納することを可能にする。これは、１９９８年１２月２９日に出願されたティー．ラッパポート（Ｔ．　Ｒａｐｐａｐｏｒｔ）およびアール．スキッドモア（Ｒ．　Ｓｋｉｄｍｏｒｅ）による米国特許出願第０９／２２１，９８５号「ワイヤレス通信ネットワークのコンピュータモデルおよび測定データベースを作成するシステム（Ｓｙｓｔｅｍ　ｆｏｒ　Ｃｒｅａｔｉｎｇ　ａ　ｃｏｍｐｕｔｅｒ　ｍｏｄｅｌ　ａｎｄ　ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔ　ｄａｔａｂａｓｅ　ｏｆ　ａ　ｗｉｒｅｌｅｓｓ　ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎ　ｎｅｔｗｏｒｋ）」に記載される２パス法によって達成される。ログファイルを取り込むには、ユーザは単に、ログファイル中の各ポイントの場所を割り当てる各データポイント毎に環境モデル中の１点をクリックすればよい。

【００５９】

ネットワーク性能測定を行う際、特にワイヤレスデータネットワークの場合には、送信と受信の性能の違いを知ることが重要である。これは、好ましい本発明が送信コンポーネントおよび受信コンポーネントの平均ネットワーク統計を測定可能である理由である。送信方向を測定するには、テストパケットのサイズを変化させる。送出するパケットのサイズと戻ってくるパケットのサイズとを変化させることによって、送信および受信の統計を分離することができる。これにより、ネットワーク設計者は、他の方法では見かけ上良好な受信によって隠れてしまうかもしれない送信上の問題を特定することが可能になる。

【００６０】

ネットワーク性能測定は、ネットワークが運ぶ実際のデータトラフィックを測定値が模さなければ役立たない。この理由から、本発明の好ましい実施形態は、実際のデータのトラフィックパターン、ネットワークプロトコルおよびパケット特性を模すことができる。したがって、ウェブブラウジング特性を測定する場合、本発明は、小さなパケットをアクセス端末からウェブサーバへ送り、通常はテキスト、画像およびウェブスクリプトのファイルフォーマットである大きなパケットをそのサーバから返す。かかるパケットの性能を測定することによって、本発明は、予期されるウェブブラウジング性能に関して精確なネットワーク統計を蓄積する。

【００６１】

特定のトラフィックタイプの測定値は、ブロードキャストまたはマルチキャストのパケット性能シナリオの使用にも適用することができる。本発明の好ましい実施形態は、同一パケット情報の複数の送信機または複数の受信機あるいはその両方の性能を測定することができる。このタイプの送信の性能は、ブロードキャストおよびマルチキャストのシナリオでは共有資源がより効率的に用いられるため、ポイントツーポイント測定と異なる。したがって、ブロードキャストまたはマルチキャスト送信の全体的な成功のため、また個々の送信機および受信機のためにネットワーク性能統計を測定する本発明の能力は非常に強力である。この能力は、マルチキャストのどの送信機が冗長であるか、あるいはどのブロードキャスト送信が所望の受信機すべてに到達するのに不十分であるかをネットワーク設計者がよりよく選択することを可能にする。

【００６２】

データ通信ネットワークのなかには、機器の特定部分、たとえばイーサネット（登録商標）ブリッジひいては１本のケーブルの性能をも測定することが困難なものもある。これは、その性能がデータ通信ネットワークのネットワーク層に対してトランスペアレントであるからである。この理由から、外挿法により単一デバイスの性能を求める本発明の能力は非常に有用である。本発明の好ましい実施形態は、ネットワーク機器の特定部分の既知の性能データを用いて、ネットワーク中の他のデバイスの寄与率を外挿することができる。十分な個々のハードウェアおよびソフトウェアリンクの測定および外挿により、全ネットワークデバイスの性能を特定することができる。この手順の精度および信頼度は、データ通信ネットワークの精確なサイト固有のモデルに大きく依存するが、本発明はこれを有する。

【００６３】

性能評価の外挿の概念をネットワーク機器のソフトウェアおよびハードウェアコンポーネントまで広げると、本発明の好ましい実施形態のさらなる機能が実証される。本発明は、場合によっては、ソフトウェアによる性能限界とハードウェアによる性能限界とを区別することができる。たとえば、送信機および受信機が同一のコンピュータである状況では、実際に送信に関わるハードウェアはない。この状況でネットワーク統計を測定することにより、コンピュータソフトウェアのみの性能を定量化することができる。送信機と送出が同一である状況を送信機と受信機が別のコンピュータである状況と比較することによって、コンピュータハードウェアのみの性能を特定することができる。いずれの場合にもソフトウェアの性能は非常に似通っているため、いずれの場合にもソフトウェアが同様に動作するものと仮定することによって、２コンピュータ間の接続におけるハードウェアのみの性能を外挿することができる。

【００６４】

測定した性能メトリックから個々のネットワークコンポーネントの性能を外挿することは時間がかかる可能性がある。この理由から、本発明の好ましい実施形態は、多くの測定ツール、システムユーティリティおよびネットワークログファイルからのデータ結果を単一の内部フォーマットに読み込むことができる。本発明は、ｐｉｎｇやｔｔｃｐといったコマンドラインユーティリティの出力、ルータおよびスイッチが作成したログファイル（ｔｃｐｄｕｍｐなど）、ひいては他の市販の測定プログラムのログファイルを読み込むことが可能であり、これらの測定結果は、予測エンジンで使用するために格納される。単一の内部フォーマットへのこれらの取り込みファイルの合成によって、本発明は、多くの異なる測定値および動作ログを単一セットのネットワーク統計に合成することができる。このプロセスは、より良くより精確なネットワーク性能のモデル化のために本発明が必要とするのが、より少ない能動的な測定活動と、より多様で精確なデータとであることを意味する。

【００６５】

データ通信ネットワークの精確で信頼性のある表現には、多数の測定データポイントが必要である。したがって、本発明の好ましい実施形態は、上述のような様々な方法を用いて大量のデータを迅速かつ容易に収集する。本発明は、リモートのデータ収集エージェント

を提供することによってこれを行う。これらリモートのデータ収集エージェントは、データアクセス端末にインストールするか、またはネットワーク中の実際のデバイス内にあるハードウェア、ソフトウェア、またはファームウェアに組み込むことができる。リモートのデータ収集エージェントは、当該リモートエージェントが行う測定を制御するサーバプログラム（処理サーバ）に応答する。すなわち、リモートエージェントは、他の任意のリモートエージェントまたは処理サーバに対して、またはそれらから、任意の所望のプロトコル、トラフィックタイプ、ネットワーク設定、または構成を用いて測定を行うように命令され得る。このプロセスは、リモートエージェントの物理的場所にいる人間ユーザからの入力を必要としない。エージェントは、正しい設定を用いた要求に応じてデータを単に記録し、サーバに結果を報告する。サーバは、全てのリモートエージェントおよび他の測定ツールからのデータを格納する。サーバは、様々な詳細報告を作成し、かつ、データを用いて将来に予期されるネットワーク性能に関する予測を行うことができる。サーバは、エージェントとしての役目も果たすことができる。このようにサーバは、階層状に、または分散して組織化され得る。これによりサーバは、測定値を互いに報告し、かつ他のエージェントまたはサーバを用いて測定を行うことができる。この場合、サーバのところにいるネットワーク設計者は、収集および報告されたデータをすべて用いて、データ通信ネットワークに伴うブロードキャストデータの公正や分散不良といった問題点、または昼食時のネットワーク動作の増大といった問題の時間を特定することができる。

【００６６】

収集される測定データの値を向上させるために、本発明の好ましい実施形態は、リモートエージェントの正確な（可能である場合）、または大まかな場所を特定する。上述のように、この場合のリモートエージェントは、その物理的場所にいるユーザによって制御されるか、あるいはサーバによってリモートで制御され得る。本発明の好ましい実施形態において、エージェントは、ネットワークレイアウトに関する情報を用いて大まかな場所を特定する。ネットワーク機器の最も近い部分を求め、大まかな場所をそのネットワーク機器の正確に分かっている場所と関連付けることにより、これが達成される。この大まかな場所は、推測航法を用いて、マップ中の場所をクリックして、あるいは全地球測位システム、レーザ距離計または現在または将来に知られる他の何らかの位置決めデバイスを用いてさらに絞ることができる。

【００６７】

本発明の好ましい実施形態は、異なるハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアおよび構成設定の効果を明らかにすることが可能であるだけでなく、ハードウェアおよびファームウェアのみ、ソフトウェアのみ、あるいは単一の構成設定の効果を予測することもできる。これらの効果について測定を行い、よって実験的に導き出した予測を調整する本発明の能力により、データ通信ネットワークの最適化が可能になる。データ通信ネットワークの任意の詳細な側面を変更する効果を予測することによって、ユーザは、新しいコンポーネントまたは設定変更の効果を即座に視覚化することができる。この能力により、当該分野に熟達したユーザは、継続的に変更を行い予測値の変更を観測することによって、最適なデータ通信ネットワークを設計することができる。

【００６８】

次に、３Ｄのサイト固有の環境ならびにネットワーク設計に用いられる特定のコンポーネントの知識を基にネットワーク性能パラメータの値を予測するための詳細に焦点を当てる。

【００６９】

本発明は、ネットワークのスループットおよび帯域幅を、性能に影響を与える以下の動作パラメータのいずれかまたは全ての関数として計算する。すなわち、送信機と受信機の間の距離、物理環境の指定、パケットサイズ、エラーおよびソースコーディング方式、パケットオーバーヘッド、変調手法、環境、干渉、信号強度、ユーザ数、またワイヤレスネットワークの場合には、アンテナのパターンおよびタイプ、マルチパス遅延、マルチパス成分の数、マルチパス成分の到来角、無線周波数帯域、プロトコル、コーディング方式、お

よび３Ｄの場所。ネットワーク接続の帯域幅およびスループットを予測するために、列挙したパラメータから適切な関数および定数を計算してから、所望の各場所および時間について予測を行うことができる。

【００７０】

有線ネットワークの場合、スループット（Ｔ）および帯域幅（ＢＷ）は、製品またはデバイスのベンダー仕様書から導き出すか、特別な実験用設定において測定することができる。あるいは、ＴまたはＢＷは、解析またはシミュレーションにより計算するか、多数の既知のデバイスを用いて現場で測定することができる。これらの手段は、本明細書中で検討するようなネットワーク予測エンジンにおいてＴまたはＢＷの正確な値を求めるために用いられ得る。ワイヤレスデータ通信チャネルのスループットおよび帯域幅を予測するための公式を式１に示す。

【００７１】

【数１】

$$T \text{ or } BW = C_1\left[Ad + Bd^2 + C\right] + C_2\left[D(RSSI) + E(RSSI)^2 + F\right] + C_3\sum_{i=1}^{M}(G_i P_i + K_i)$$

【００７２】

ここでＴはスループット、ＢＷは帯域幅、ｄは送信機と受信機の間の距離である。ＲＳＳＩは、受信機における信号の電力レベルを絶対値または対数値で示す受信信号強度である。Ａ、Ｂ、Ｃ、C_1、C_2、C_3、Ｄ、Ｅ、Ｆ、K_iは、定数であるか、あるいは１つまたは複数の物理的または電気的パラメータ、たとえば物理環境のタイプ、パケットサイズ、変調、モデムタイプ、または物理的、電気的、または論理的なネットワーク環境に関連する他のパラメータの線形または非線形関数を表し得る。これらの定数または関数は、ＴまたはＢＷのどちらを解くのかに応じて特定の関数値をとる。Ｍの値は、チャネルの伝播解析から求められる特定の送信機からの特定数のマルチパス成分を示すか、あるいは当該項は、送信機の集まりからの重要なマルチパス成分の組み合わせを示し得る。ここで「重要な」という語は、アンテナパターン、物理環境の距離、および当業者に既知の以下で説明する他のワイヤレス伝播要因に基づく。G_i、P_iの値は、個々のマルチパス成分または１つまたは複数の放射源からの総信号成分を表し得るＭ個の異なる信号成分の各々の利得および電力レベルをそれぞれ表し、Ｋｉは、ｉの各値の有限数の定数または関数を表す。Ｇｉ、Ｐｉおよび個々のＫｉは、対数値（たとえばｄＢ）または絶対値であり得ることに留意されたい。上記式のこれらの定数または関数は、送信機と受信機の間の距離（ｄ）に左右される場合があり、ここでｄは、サービスを提供している送信機と受信機の間の主要信号経路の直線距離または実際の反射／回折距離、３Ｄ環境、観測時間または観測間隔、雑音電力、パケットサイズ、コーディング方式、ユーザ数、変調タイプ、干渉である場合があり、またワイヤレスネットワークの場合には、経路損失、マルチパス遅延、マルチパス成分の数、スプレッド角、受信信号の強度および到来角、変調帯域幅、およびネットワーク中の特定機器の他の物理的、電気的および論理的設定を含み得る。また定数または関数は、解析的に計算するか、最初の推測のために予測するか、サイト固有の環境にある実際のネットワークの測定性能と予測性能の間でベストフィット法を用いて解くことができる。

【００７３】

マルチパス遅延、およびネットワーク性能の予測および設計に及ぼすその影響は、本発明が検討し、式（１）に示すような多くの方法で考慮することができることを留意することが重要である。まず、マルチパスを個別に考慮し、そこで各マルチパス成分は各送信デバイスから到来するものとして考える。マルチパスのモデル化方法は従来技術、およびバージニアテクノロジーズ（Ｖｉｒｇｉｎｉａ Ｔｅｃｈ．）のラッパポート（Ｒａｐｐａｐｏｒｔ）らによる多数の研究において既知であり説明されている。あるいは、総マルチパ

ス効果を、通信ネットワークをモデル化する特定の建物または３Ｄ環境の最大、平均または中央値の長さにより近似される最悪の場合の遅延（たとえば伝播距離ｄ）を持つものとしてモデル化することができる。あるいは、各送信機または受信機のアンテナパターンを検討することによって空間的考慮事項を用いることもできるため、各ワイヤレスデバイスの主ビームでのみ到来するマルチパスを、遅延の計算および（１）のネットワーク性能において考慮することができる。あるいは、最も強力な１つまたは２つまたはある有限数の送信機のみをマルチパス伝播遅延について考慮することができる。それにより、有限数の送信機、たとえば目的の受信機に最も近い送信機、または一定の基準、周波数、または電力設定の送信機のみを考慮して、マルチパスエネルギーを放射してＲＳＳＩ値を生じ、かつ当該有限数の送信機から、最も強力なマルチパス、または平均、最高、中央値、または最大である少数のマルチパス成分のみを遅延の計算において考慮することができる。あるいは、有限数の送信機のみを考慮する場合、上記方法、たとえば物理環境を考慮して各送信機から総マルチパス遅延を求めること、あるいは特定のアンテナパターンを使用して最も重要なマルチパス成分を求めることを用いて、マルチパスのモデルおよびそれがネットワーク性能に与える影響を導き出すことができる。同様の手法を用いて、受信信号強度（式１中のＲＳＳＩ）をモデル化することができる。

【００７４】

式（１）の定数または関数は、最初の予測にはブラインドに割り当て、次にサイト固有の環境内の特定のネットワークを実験的に測定して、ベストフィット（最小二乗誤差法または他の何らかの既知の方法を使用）を用いて（１）の定数または関数に値を割り当てることができるようにすることに留意されたい。（１）において、距離（ｄ）は、環境の３Ｄのサイト固有のモデルからの真の物理的距離に基づくか、相対距離の比を実際に表すことができ、ここで２点間の物理的距離は、（ラッパポート著，「ワイヤレス通信の原理と実践」，プレンティスホール，１９９６年（Ｒａｐｐａｐｏｒｔ，”Ｗｉｒｅｌｅｓｓ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ，Ｐｒｉｎｃｉｐｌｅ ＆ Ｐｒａｃｔｉｃｅ，Ｐｒｅｎｔｉｃｅ－Ｈａｌｌ，１９９６））に教示されるように、伝播予測で慣行となっている好都合な近接（ｃｌｏｓｅ－ｉｎ）自由空間基準距離を基準とすることに留意されたい。

【００７５】

ネットワークデータの伝播遅延を、コンポーネント同士が電線（ファイバまたは金属線のいずれか）によって相互接続される有線ネットワークについて、データ伝送に用いられるデバイス中の電気、電磁または光信号の伝播速度で移動距離を割ることによって予測する。たとえば、光ファイバケーブル中のデータは、データ伝送に用いられる光ファイバケーブル中の光子に影響する当該ケーブルの誘電特性により、１秒に2×10^{8}メートルの速度で伝わる。かかる光子は、自由空間の伝播速度よりも遅い光の速度でガラス中を移動する。したがって、ケーブルの長さが２００メートルである場合、送信遅延は1×10^{6}秒である。本発明中の完全なネットワークをモデル化するサイト固有の方法を用いることによって、ユーザは、ネットワークを環境中で構成すると同時に視覚化し、３Ｄ環境内のケーブル内の遅延および遅延の予測または測定性能の表示を見ることが可能である。さらに、ツールチップマウスカーソルまたは他の何らかのポインティング手段を用いるか、プルダウンメニューを用いるか、あるいは本発明が実装されている表示デバイスを単に見ることによって、様々なネットワーク性能メトリック、ならびに資材仕様書からの格納されたデータおよび目的のパラメータを可視化または格納することができる。

【００７６】

データ通信ネットワークのワイヤレス部分の伝播遅延の予測は、有線ネットワークよりも難しい。これは、複数の送信源、たとえばブルートゥースネットワーク、ＩＥＥＥ８０２．１１ｂ、またはワイヤレスＡＴＭネットワークにおける複数のアクセスポイントが同時に送信を行う可能性があるということによる。さらに、上述のように、マルチパス干渉は、ワイヤレス受信機または送信機で用いられる特定のネットワーク機器に応じて等化されても等化されなくてもよいエコーを生成し得る。しかしながら、式（１）に示すように、マルチパス遅延期間、および特定のマルチパス成分による伝播損失または利得をさらに考

慮に入れて、有線ネットワークに用いたのと同一の計算モデルを用いることができる。このマルチパス遅延の付加的な考慮事項は、ワイヤレスデータが常に直線状に伝わるわけではないこと、および物理オブジェクトが無線エネルギーを回折、反射、吸収、および散乱し得ることを明らかにするために必要である。したがって、データ通信ネットワークにおいてワイヤレスリンクの送信遅延を計算するには、式２に示すように、送信機と受信機の間の距離をワイヤレス通信リンクの伝播速度（3×8^{10}メートル毎秒）で割り、次に送信機から受信機までに取る間接経路によって導入されるマルチパス遅延に加える。

【００７７】

【数２】

$$T_p=\frac{d}{3*10^8 m/s}+\tau_d$$

【００７８】

ここで、T_pは伝播遅延（秒）であり、ｄは送信機と受信機の間の距離（メートル）であり、τ_dはマルチパス遅延（秒）である。マルチパス遅延の予測は、既知のレイトレーシング技法を用いて、あるいは到来角、または信号強度の値に基づいて、あるいは３Ｄ環境の物理モデルに基づき推測することによって行う。

【００７９】

送信遅延は、送信ビット数を用いて接続の帯域幅から直接計算される。送信遅延を計算するには、送信ビット数を帯域幅で割る。この計算は、有線チャネルとワイヤレスチャネルで同一であるが、各ネットワークデバイスについて別個に行わなければならない。公式を式３に示す。

【００８０】

【数３】

$$T_t=\frac{\#\ of\ bits}{BW}$$

【００８１】

ここでT_tは送信遅延時間（秒）であり、＃　ｏｆ　ｂｉｔｓは、送信またはパケット中のビット数であり、ＢＷはネットワークリンクの帯域幅（１秒あたりのビット数）である。

【００８２】

処理遅延は、ネットワーク内で各デバイスについて別個に計算しなければならない。処理遅延とは、ネットワークデバイスがネットワークデバイスに適用されたデータビットを処理、格納、および転送するために必要な時間である。あるいは、処理遅延とは、情報源が意味のあるデータストリームを作成するよう命じられた際にこれを行うために必要な時間であり得る。処理遅延は、いずれの処理も行わないデバイス、たとえばケーブル、アンテナ、またはスプリッタといった受動的なネットワークコンポーネントの場合にゼロであることが分かっている。処理時間は、パケットサイズ、プロトコルタイプ、オペレーティングシステム、ベンダー、ファームウェア、ハードウェア、およびソフトウェアのバージョンまたは構成、ならびにデバイスのタイプおよび当該デバイスにかかっている現在の計算負荷によって異なり得る。任意のデバイスの処理遅延を予測するには、これらの影響をすべて明らかにするモデルを用いることが必要である。これらのモデルは、現場で測定されるか、テスト設備で測定されるか、ベンダーから得られるか、あるいは解析またはシミュレーションから導き出され得る。

【００８３】

キューイング遅延は、複数のユーザまたは複数の接続からデータを送信するデバイスのみに当てはまる。デバイスのキューイング遅延とは、他のトラフィックが送信されるために特定のパケットが待たなければならない時間である。特定の接続のキューイング遅延は特定のデバイスが扱うトラフィック量に左右されるため、これを予測することは困難である

。この理由から、キューイング遅延は、統計的確率変数を用いて、予期されるデバイスの性能および／または予期されるトラフィック負荷に基づいて予測することができる。あるいは、デバイスの仕様によって定められるか、または解析により測定、シミュレート、または計算されるキューイング遅延時間の平均、中央値、最良または最悪の場合、もしくは他の何らかの線形または非線形加重を用いて、予測キューイング遅延時間を計算することができる。

【００８４】

パケット待ち時間、往復時間およびハンドオフ遅延時間はすべて、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、およびキューイング遅延の時間に基づく。パケット待ち時間および往復時間を精確に予測するには、伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延の時間を特定のネットワークリンク中の全てのネットワークデバイスについて合計し、特定のトラフィックタイプ、パケットサイズ、およびプロトコルタイプを用いて調整しなければならない。例えば、パケット待ち時間とは、パケットが送信機から受信機へ移動するために必要な時間である。特定リンクのパケット待ち時間を予測するには、パケットの片道伝送について特定のネットワーク接続、トラフィックタイプ、およびパケットサイズを用いて伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延の時間を計算しなければならない。

【００８５】

往復時間は、パケットの送信および受信ならびに確認応答パケットの返信以外は同様に計算される。したがって、往復時間を予測するために、本発明は、元のパケットサイズおよび確認応答パケットのサイズ、ならびに特定のネットワーク接続、プロトコルおよびトラフィックタイプが伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延に及ぼす影響を考慮に入れる。

【００８６】

ハンドオフ遅延時間は、１つのアクセスポイントから別のアクセスポイントへのワイヤレスデバイスの制御の変更を調整する２つの別個のワイヤレスアクセスポイントに関連する伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延に基づく。これらの遅延は、２つのアクセスポイントがハンドオフを首尾よく行うためにデータを往復して伝送しなければならないために生じる。したがって、ハンドオフ遅延時間の予測は、２つのアクセスポイント間のパケット待ち時間の予測と同様である。ハンドオフ遅延時間を予測するために、本発明は、２つのアクセスポイント間のリンクの伝播遅延、送信遅延、処理遅延およびキューイング遅延を計算する。次に本発明は、必要な特定回数の送信と、ハンドオフを首尾よく行うために送らなければならないデータのサイズとに合わせて適応する。

【００８７】

ビット誤り率を予測する際、本発明は、有線およびワイヤレスの誤り率を考慮する。ワイヤレスネットワークは、その有線の対応物よりも遥かに劣悪な電気的環境で動作し、ワイヤレスネットワークの相互接続はモデル化が遥かに難しく、本発明以前は、３Ｄのサイト固有の環境内での複数の送信機、複数の干渉器、雑音源、およびネットワークコンポーネントの特定の精確な物理的および電気的モデルを用いた実用的ネットワークのモデル化は成功していなかった。本発明は、有線ネットワークとワイヤレスネットワークの両方を考慮することができる特定のネットワーク実施に環境の３Ｄのサイト固有の表現を用い、全ての放射源およびそれらのアンテナシステムの物理的場所、電気的仕様および属性を現実世界の３Ｄ環境モデルで考慮する。ワイヤレスネットワークは、上述のように、マルチパス伝播、複数の送信機、および雑音の影響のために、有線チャネルよりも多分にデータエラーを起こしやすい。無線伝播および雑音が固定された有線ネットワークよりもランダムであるという事実は、実際の設計のために考慮しなければならず、本発明中でモデル化される。有線チャネルの場合、ビット誤り率は、単に接続の電気的、光学的および電磁的パラメータの尺度であり、統計的確率変数、たとえばガウスまたはポアソンランダム分布、あるいは現在または将来において知られる他の賢明な分布またはアルゴリズムを用いて予測され、この確率変数は、ネットワークコンポーネントまたはネットワークサブシステムの平均、中央値または通常の性能付近にオーバレイされる。ネットワークデバイスまたは

サブシステムは、ルータやスイッチといった単一のワイヤレスノード、あるいはネットワークと通信する様々なルータ、ハブ、スイッチ、ワイヤレスアクセスポイント、およびワイヤレスクライアント／サーバデバイスの完全な相互接続を含み得る。このネットワークは、有線、ワイヤレス、またはその組み合わせであり得る。

【００８８】

デバイスまたはネットワークサブシステムの多くの性能メトリック、たとえばフレーム誤り率、ビット誤り率、またはパケット誤り率、ならびに他の性能パラメータ、たとえばスループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間は、機器の仕様から導き出されるか、本発明中で解析的に計算されるか本発明に入力されるか、あるいは本発明の使用に先立って演繹的に測定され得る。すなわち、動作パラメータまたは機器パラメータとして知られる、上に挙げたような特定の動作パラメータを、ベンダーによって提供される機器の仕様により測定または予測することができる。あるいは、当該動作パラメータは、ユーザまたは研究設備が現場で測定して、正確なモデル化および本発明への入力を行うことができる。あるいは、当該動作パラメータは、性能モデルおよび動作パラメータを計算できるようにデバイスの相互接続を検討する何らかの既知の解析モデルに基づいて計算することができる。本発明中のネットワーク性能をモデル化する統計的確率変数は、各デバイスの電気的、光学的および電磁的特性、たとえば電圧レベル、電力レベル、インピーダンス、および動作周波数に依存するか、各ネットワークデバイスの通常の観測（測定）値を用いて生成することができる。たとえば、銅線は、10^6個または10^7個の送信ビット中に誤り１個というビット誤り率を持つものとしてモデル化され得る。いったん測定され特徴付けられたネットワーク内の単一の初期時間、単一のコンポーネントまたは一連のコンポーネントは、本発明により繰り返しモデル化することができるため、ネットワーク性能モデルが

【００８９】

しかしながら、ワイヤレス性能パラメータは、有線でのビット誤り率よりも遥かに多くの要因に左右される。この理由から、本発明は、環境、送信機と受信機の間の距離、伝送を妨害する分割の回数およびタイプ、時間、３Ｄ位置、パケットサイズ、プロトコルタイプ、変調、無線周波数、無線周波数帯域、エンコーディング方法、誤り訂正符号化技法、マルチパス信号の強度および到来角、ならびにマルチパス遅延に基づいてワイヤレスでのビット誤り率を予測する。その結果、予測ビット誤り率の計算は、以前に測定されたか、または既知であるチャネルおよびネットワーク機器の性能メトリックから、予期されるビット誤り率に変換する、定数または関数を用いて行われる。データ通信チャネルのビット誤り率、フレーム誤り率またはパケット誤り率を直接的に予測するための公式は、式４に示されるもので、式１と同一である。

【００９０】

【数４】

$$BER,\ PER,\ or\ FER = C_1[Ad + Bd^2 + C] + C_2[D(RSSI) + I(RSSI)^2 + F] + C_3 \sum_{i=1}^{M}(G_1P_1 + K_1)$$

【００９１】

ここでＢＥＲはビット誤り率であり、ＦＥＲはフレーム誤り率であり、ＰＥＲはパケット誤り率であり、ｄは送信機と受信機の間の距離である。ＲＳＳＩは、受信機における信号の電力レベルを示す受信信号強度である。Ａ、Ｂ、Ｃ、C_1、C_2、C_3、Ｄ、Ｅ、Ｆ、K_iは、ＢＥＲ、ＦＥＲ、およびＰＥＲのうちのどれを計算しているのかに応じて異なる値を有する定数あるいは線形または非線形関数である。Ｍの値は、特定の送信機からの特定数のマルチパス成分を示すか、あるいは送信機の集まりからの重要なマルチパス成分の

組み合わせを示し得る。ここで「重要な」という語は、アンテナパターン、物理環境の距離、および当業者に既知の、本開示中で説明する他のワイヤレス伝播要因に基づく。G_i、P_iのM個の値の各々は、個々のマルチパス成分または１つまたは複数の放射源からの総信号成分を表し得る異なる信号成分の利得および電力レベルをそれぞれ表し、電力の対数値または線形値であり得る。変数G_i、P_iおよびM個のＫｉ値のうちのそれぞれ１つは、対数値（たとえばｄＢ）または絶対値であり得る。上記式のこれらの定数は、送信機と受信機の間の距離（ｄ）に左右され、ここでｄは、サービスを提供している送信機と受信機の間の主要信号経路の直線距離または実際の反射／回折距離であり得る。式（１）を取り巻く文章中で説明したように、距離は、直線距離であるか、あるいは環境の全体の特性、たとえば３Ｄ環境の最大、平均、または中央値の長さからモデル化され得る。式（１）と同様に、式（４）は、距離ｄを実際の物理的距離として、または近接基準を基準とした相対距離として考慮することができる。

【００９２】

フレーム誤り率、パケット誤り率およびパケット損失率はすべて、ビット誤り率から計算するか、あるいは上述した、または式４にモデル化したビット誤り率の場合と同じ方法を用いて直接的に予測することができる。これらの計算を行うために、本発明は、サイト固有の資材仕様書に格納された、使用中のパケットサイズ、フレームサイズおよびプロトコルに関する情報を用い、かつワイヤレス　ヴァレー　コミュニケーションズ社のサイトプランナ製品に使用されているようなサイト固有の伝播および干渉のモデル化技法を用いる。

【００９３】

ワイヤレスネットワークにおいて、全ての様々なエラー源の複合効果をモデル化することは非常に困難である。変調および特定のエラーおよびソースコーディング技法がワイヤレスネットワーク性能に影響を与えるだけでなく、アンテナ、マルチパス、雑音、ＶｏＩＰまたはワイヤレスＡＴＭ連結法、特定のワイヤレスモデム製造業者のモデム設計、および有線デバイスとワイヤレスデバイスを接続するために用いられる特定のＲＦ分配システムの影響もワイヤレスネットワーク性能に影響を与える。かかる様々な効果をモデル化する能力は、上で説明したような特定の現場のネットワーク性能の現場測定を可能にすることによって行うことができる。移動体受信機を動作させてサイト固有の環境内でネットワーク性能パラメータを測定するウォークスルーまたは運転テストを行うことによって、式１で説明した概念を適用して特定のモデム製造業者のベストフィットを判定することが可能となる。

【００９４】

帯域幅遅延積は、環境、３次元位置、プロトコルタイプ、マルチパス遅延、パケットサイズ、無線周波数、無線周波数帯域、コーディング、マルチパス成分の数、強度および到来角、信号強度、送信遅延、伝播遅延、処理遅延およびキューイング遅延、ビット誤り率、パケット誤り率、およびフレーム誤り率のうちのいずれかまたは全てに関する情報を用いることによって本発明により直接的に計算することができる。あるいは、本発明は、前もって予測した値を用いて帯域幅遅延積を間接的に計算することができる。帯域幅遅延積は、特定のネットワークデバイスの帯域幅に当該デバイスが導入する全遅延を乗じることによって計算される。したがって、公式をここで式５に示す。

【００９５】

【数５】

$$BWD = \frac{BW}{T_{net}}$$

【００９６】

ここで、ＢＷＤは帯域幅遅延積であり、ＢＷは帯域幅であり、T_{net}は導入される全遅延である。

【００９７】

本発明は、データ通信ネットワークハードウェアの一貫性の統計モデルを用いて、パケットジッタおよびサービス品質（ＱｏＳ）を予測する。これらの性能基準は両方とも、ネットワークが一貫したデータ到着時間を提供する信頼性の尺度である。したがって、接続のＱｏＳまたはジッタを計算するために、本発明は、環境、３次元位置、プロトコルタイプ、マルチパス遅延、パケットサイズ、無線周波数、無線周波数帯域、コーディング、マルチパス成分の数、強度および到来角、信号強度、送信遅延、伝播遅延、処理遅延およびキューイング遅延、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、スループット、帯域幅、および帯域幅遅延積のうちのいずれかまたは全てを含む公式を用いる。公式は、上記変数を大まかにはデータ到着時間の変動に、また具体的には接続のＱｏＳおよびパケットジッタに関連付ける定数または関数を含む。本発明のこの実施形態は、式（１）または式（４）を用いて、データ通信ネットワークのＱｏＳおよびパケットジッタを求める。

【００９８】

本発明の好ましい実施形態において、予測は、サイト固有の間取図、建物レイアウト、地形特性およびＲＦ特性の影響だけでなく、ネットワーク中の特定のネットワークハードウェア、ファームウェアおよびソフトウェアの影響も考慮する。本発明は、上述した資材仕様書を用いて、ネットワークが個々のデータ通信デバイスの設定および場所までモデル化されることを可能にする。ネットワーク性能統計の予測は、これらの設定を考慮に入れる。これは、異なるトランスポートレベルのプロトコル（ＴＣＰやＵＤＰなど）、異なるプロトコル設定（パケットサイズおよびバッファサイズなど）、データ帯域幅（ビット毎秒）、物理層の伝送方法、たとえば変調技法（ＱＰＳＫやＦＨＳＳなど）、コーディング方式（ＣＣＫやトレリス符号など）、伝送媒体（銅、光ファイバケーブルやワイヤレス接続など）および特定の周波数帯を本発明が考慮することを意味する。これらの側面には、送信機－受信機距離（Ｔ－Ｒ距離）、伝播環境、干渉、経路損失、ＲＦ資源を共有するユーザ数、マルチパス遅延、マルチパス成分の数およびそれらの強度および到来角を含む場所およびワイヤレスに特有の基準の考慮事項に加えて、コヒーレント対インコヒーレント電力比、およびＲＦ帯域（Ｈｚ）がある。これらの変数はすべて、式（１）または式（４）の形式にマッピングされ得る結果を生じ得る。

【００９９】

本発明の好ましい形態による予測は、データ通信ネットワークユーザの特性を考慮する。ユーザがネットワークにもたらすデータ通信トラフィックのタイプ、ユーザ数、および経時的な使用パターンなどの情報は、本発明では場所固有の様式で格納される。すなわち、個々のユーザと当該ユーザがもたらすトラフィックを表すポイント、あるいはユーザのグループまたはプールの特性を割り当てることができるエリアを配置することができる。本発明は、ネットワーク性能基準の予測を行う際、これらのユーザトラフィックのポイントおよびエリアを考慮する。これは、激しい使用に適応できるアクセスポイントがカバーするエリアに多数のユーザが検出された場合、本発明は、これらの（あるいは他の任意の）条件の性能を精確に予測できることを意味する。これは、データ通信ネットワークの精確で場所固有のモデルによってのみ可能である。さらに、本発明の好ましい形態はユーザの使用パターンを経時的に追跡するため、結果として得られる測定値は、サーバプロセッサが用いて、式（１）または式（４）の定数または関数のテーブル参照値を求めることができる。異なる時間帯のネットワーク性能を予測するために、式（１）または式（４）には異なる値の定数または関数が見出され得る。これは、実際のネットワークは、ピークの使用時と使用量が少ない落ち着いた状態とを有するため、データ通信ネットワーク予測モデルの重要な側面である。データ通信ネットワークの使用量を経時的に追跡することによって、本発明の好ましい形態は、ある時間にネットワークに障害が生じるかを判定することができる。

【０１００】

通信ネットワークにおいて、容量とは、常に理論上の最大可能容量をスケーリングしたものであり、様々なユーザとその伝播特性、メッセージサイズ、ならびにネットワーク特性の影響が全て重なって、個々のユーザがネットワーク上に見る容量を制限または限定する

。Ｔｍａｘビット毎秒という最大定格を有する特定のコンポーネントまたはデバイスをボトルネックとして有するネットワークを考える。このコンポーネントは、ネットワークの最大可能スループットを制限する。容量が、デバイスまたはネットワークの容量またはスループット（ＴまたはＣａｐａｃｉｔｙとして定める）を表すものと考える。ここでＴ（ｘ，ｙ，ｚ，ｔ）＝Ｔｍａｘ［γ］であり、ここでγは、多くの異なる複雑な物理的、電気的、および論理的条件を０～１の範囲の単純な値に融合するスケーリング係数である。ガンマが０である場合、容量はない。ガンマが１である場合、最大容量がある。Ｔはネットワークにおける３Ｄ位置決め関数ならびに時間関数であることに留意されたい。特定のユーザにとって、ネットワーク予測モデルの目標は、容量を３Ｄ位置の関数として、および時間関数として予測することである。したがって、Ｔ［ｘ，ｙ，ｚ，ｔ］の範囲は０～T_{max}となる。

【０１０１】

データ通信ネットワークにかかる負荷は、個々のユーザの容量に影響を与える。ユーザ数および各ユーザの使用パターンは、データ通信ネットワーク中の各ユーザの容量に影響する。本発明の好ましい実施形態は、上述のような測定エージェントを用いて瞬時のトラフィック状況を測定することによって、ネットワーク負荷が重要なネットワーク統計に及ぼす影響をネットワーク設計者が見ることを可能にする。ネットワーク機器からの観測、あるいはハードウェアまたはソフトウェア製品に組み込まれた報告機構といった他の手段により現場容量測定値を求めることが可能である。特定の容量の結果のテーブル参照を３Ｄのサイト固有の場所と時刻の関数として求めることによって、本発明は、容量の測定値ベースの予測モデルを構築する。これらの測定値は、ここに示すような容量モデルを形成するために用いられる。

【０１０２】

本発明は、容量（またはスループット）にかかるスケーリング係数がネットワークの瞬間ユーザ数、ネットワークの最大同時ユーザ数、ネットワークのユーザが用いる平均および最大パケットサイズ、およびモデムまたはネットワークまたはベンダーまたはプロトコル特有の他の多くの要因の関数であるという事実を検討する。また、ワイヤレスネットワークの場合、マルチパス伝播効果、ユーザとワイヤレスアクセスポイントの間の伝播距離、および受信信号レベルが、容量を制限する要因である。さらに、変調、等化、インパルス雑音、および他の要因の影響を融合する定数または関数が本発明において用いられる。

【０１０３】

したがって、ネットワークの容量またはスループットは、次式によってモデル化することができる。

【０１０４】

【数６】

$$Capacity = C_1\left[Ad + Bd^2 + C\right] + C_2\left[D(RSSI) + E(RSSI)^2 + F\right] + C_3\sum_{i=1}^{M}(G_iP_i + K_i)$$

【０１０５】

ここで（６）の定数または関数は、式（１）および式（４）について説明したのと同様の特性を持つ。さらに、式（６）全体をＫ／Ｕｍａｘでスケーリングすることができ、ここで、Ｋはネットワーク上の瞬間ユーザ数であり、Ｕｍａｘは考え得る最大同時ユーザ数を示す。

【０１０６】

ハンドオフ遅延時間は、ワイヤレスデータ通信ネットワークにおける潜在的な問題である。ハンドオフは、ワイヤレスデータネットワークにおいて、ユーザが１つのアクセスポイントの範囲から別のアクセスポイントの範囲へと移動したときに起こる。この状況において、第１のアクセスポイントは、ワイヤレスユーザにデータを届ける責任を第２のアクセ

スポイントに引き継がなければならない。２つのアクセスポイントが遠く離れ過ぎている場合、ワイヤレスデータネットワークユーザが１つのアクセスポイントから別のアクセスポイントにハンドオフされるための十分な時間がなく、ファイル転送は失敗する可能性がある。本発明は、サイト固有の時間依存性測定値を用い、これを式（１）、式（４）または式（６）の形式に当てはめることによって、ハンドオフが起こる場所と、２つの異なるアクセスポイントにおける互換性のないネットワーク設定によりハンドオフが失敗する可能性とを予測する。次に、テーブル参照法を用いて、ハンドオフ時間の予測モデルを空間位置決めと時刻の関数として求める。

【０１０７】

最適化の概念は、本発明の重要な側面である。好ましい発明は、本発明において導き出して格納した予測値と測定した性能パラメータを比較することによって当業者が既存のデータ通信ネットワークの性能を迅速に上げることを可能にするのに非常に有効である。測定値を用いて予測値を向上させるプロセスは最適化と呼ばれ、図６、図７、および図８に示される。測定値のみを用いたネットワークの最適化方法を図６に、予測値のみを用いたものを図７に、また測定値と予測値の組み合わせを用いたものを図８に示す。データ通信ネットワークを最適化するプロセスは、様々なサイト固有の場所および特定時刻のスループット、帯域幅、サービス品質、ビット誤り率、パケット誤り率、フレーム誤り率、パケット損失率、パケット待ち時間、往復時間、伝播遅延、送信遅延、処理遅延、キューイング遅延、ネットワーク容量、パケットジッタ、帯域幅遅延積およびハンドオフ遅延時間といった性能基準の予測値および測定値を数値的、視覚的、または他の何らかの手段により比較することによって達成される。ネットワーク中で用いるハードウェアを変えることによって、あるいはハードウェアの場所またはネットワーク内の各デバイスを制御するハードウェア、ファームウェア、またはソフトウェアの構成を変えることによって、当業者は、ネットワーク性能を上げることができる。これらの性能の向上は、ネットワークに対するサイト固有の機器の変更をネットワークの３Ｄモデル中で行った後に性能基準の予測を繰り返すことによって実施し見ることができる。このプロセスを継続することにより、当業者は、ネットワークの性能を最適化し、効率的なデータ通信ネットワークを達成することができる。

【０１０８】

この情報を用いて、本発明の好ましい実施形態は、ネットワークのエリアをアップグレードまたは再構成する提案を行うことができる。本発明はまた、ＳＮＭＰプロトコル通信または他のプロトコルを用いて、これらの変更を実際に実施することができる。すなわち、ネットワーク設計者は、データ通信ネットワークにおける問題を予測により特定することができ、そこでデータ通信ネットワークの性能基準の予測は、既知の測定データと、データ通信ネットワーク中の全てのデータ通信ハードウェアの構成および予期される性能とを用いて計算される。予測された性能基準は、環境の場所固有の３次元のモデル中に視覚的および数値的に格納および表示される。すると設計者は、本発明を用いて、予測結果を見て明らかな問題に対する解決策を、本発明による変更の提案に従うことによって、あるいは設計者独自の変更を行うことによって特定することができる。予測結果をシミュレートした後、ネットワーク設計者は、設計者が予測に用いた変更を用いて機器の全ての関連する設定を更新するよう本発明に指示することができる。すると設計者は、本発明の測定機能を用いて、ツールを用いてこれらの変更の結果を測定することができる。

【０１０９】

本発明をその好ましい実施形態に関して説明してきたが、当業者は、本発明を併記の特許請求の範囲内で相当な変形を用いて実施できることが分かるだろう。

【図面の簡単な説明】

【図１】

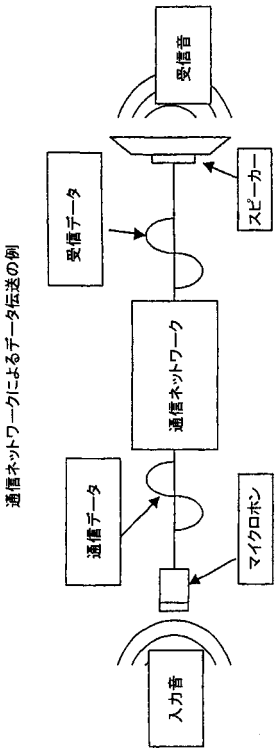
通信ネットワークによるデータ伝送の例を示す図である。

【図２】

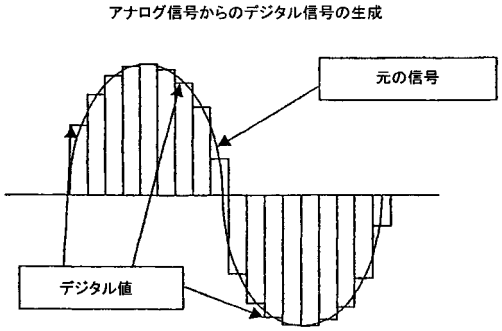
アナログ信号からのデジタル信号の生成を示す図である。

【図３】
ビット、パケットおよびフレームの違いの図である。
【図４】
データ通信ネットワークのツリー表示の各ノードに表示されるデータの図である。
【図５】
環境の３Ｄのサイト固有のモデルの作成方法を示す図である。
【図６】
予測値を用いたデータ通信ネットワークの最適化方法を示す図である。
【図７】
測定値を用いたデータ通信ネットワークの最適化方法を示す図である。
【図８】
予測値および測定値を用いたデータ通信ネットワークの最適化方法を示す図である。

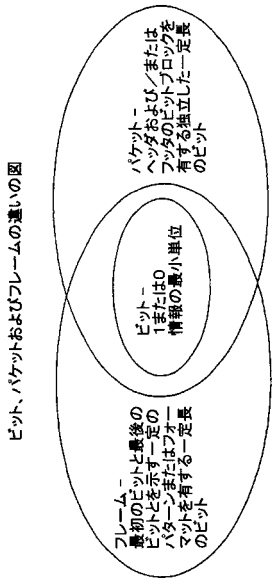
【図１】



【図２】



【図３】

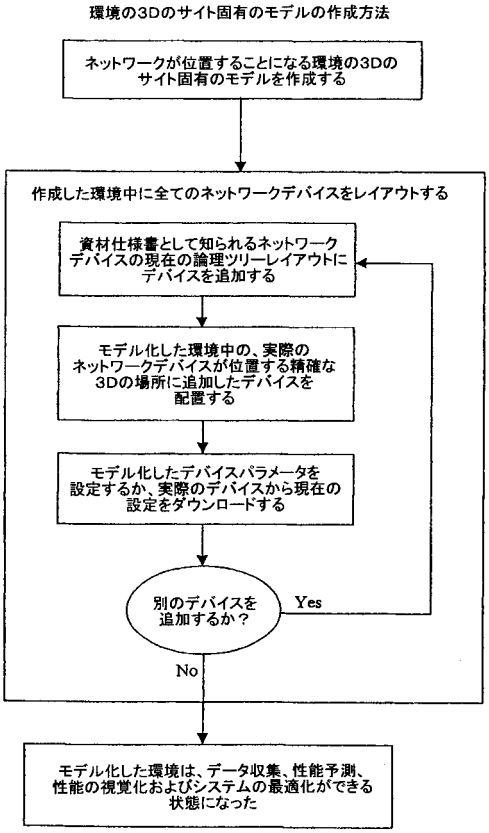


【図４】

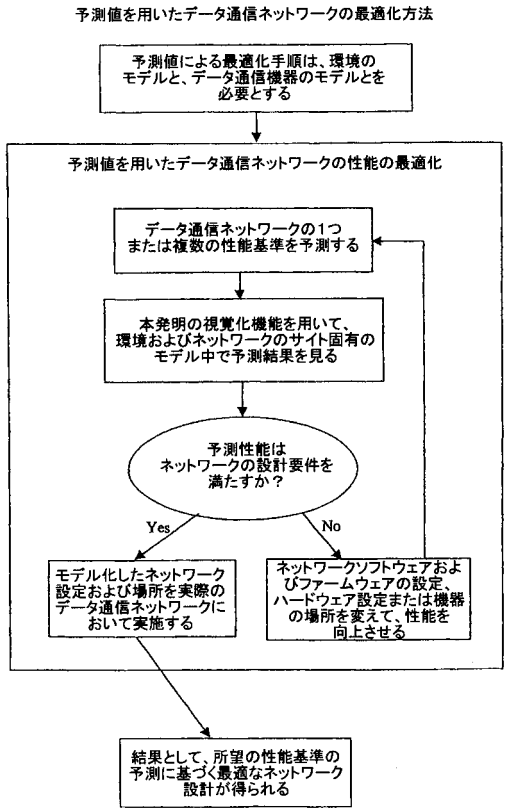
データ通信ネットワークのツリー表示の各ノードに表示されるデータの図

・ネットワークデバイスの名前およびタイプ
　－仕様
　　・電気的、光学的、および電磁的な特定の動作パラメータ
　　・ソフトウェア、ファームウェアおよびハードウェアのバージョン番号および設定
　－物理的コネクタ
　　・各コネクタに固有の仕様および設定

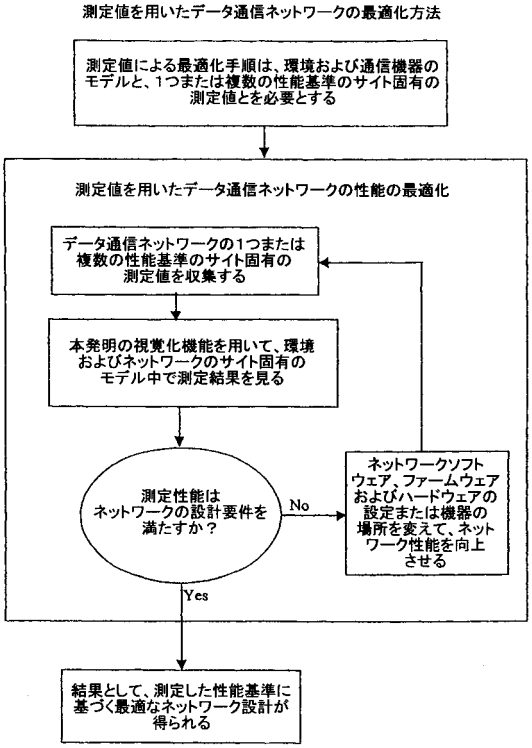
【図５】



【図６】

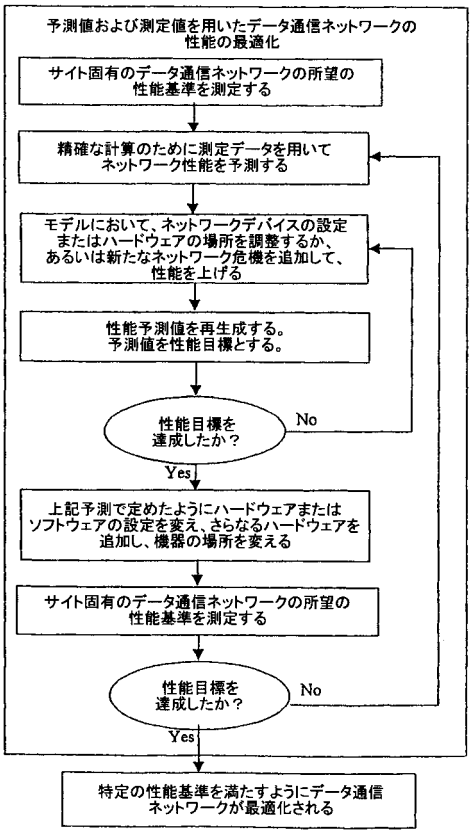


【図７】



【図８】

予測値および測定値を用いたデータ通信ネットワークの最適化方法



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
4 April 2002 (04.04.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/27564 A1

(51) International Patent Classification[7]: G06F 17/50, G06G 7/62

(21) International Application Number: PCT/US01/29419

(22) International Filing Date:
21 September 2001 (21.09.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/688,145 25 September 2000 (25.09.2000) US

(71) Applicant: **WIRELESS VALLEY COMMUNICATIONS, INC.** [US/US]; 104 Hubbard Street, Blacksburg, VA 24062 (US).

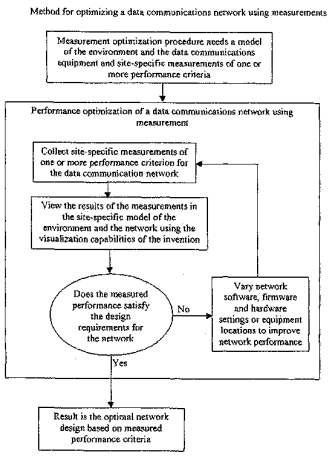
(72) Inventors: **RAPPAPORT, Theodore**; 816 Pendleton Drive, Salem, VA 24153 (US). **SKIDMORE, Roger**; 510 Hunt Club Dr., Apt. 502, Blacksburg, VA 24060 (US). **HENTY, Benjamin**; 313 Hunt Club Rd., Apt. 6200C, Blacksburg, VA 24060 (US).

(74) Agent: **WHITHAM, Michael, E.**; Whitham, Curtis & Christofferson, P.C., 11491 Sunset Hills Road, Suite 340, Reston, VA 20190 (US).

(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Continued on next page]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR DESIGN, TRACKING, MEASUREMENT, PREDICTION AND OPTIMIZATION OF DATA COMMUNICATIONS NETWORKS



(57) Abstract: A system and method for design, tracking, measurement, prediction and optimization of data communications networks (figure 7) includes a site specific model of the physical environment (figure 7), and performs a variety of different calculations (figure 7) based on both the components used in the communications networks and the physical environment in which the network is deployed.

WO 02/27564 A1

WO 02/27564 A1

(84) Designated States *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— *with international search report*

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

SYSTEM AND METHOD FOR DESIGN, TRACKING, MEASUREMENT, PREDICTION AND OPTIMIZATION OF DATA COMMUNICATION NETWORKS

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention

The invention relates to the field of communications networks, and more specifically to the design thereof, and the measurement, visualization, prediction and optimization of the performance of data communication networks. A method and system to predict, visualize and optimize the performance of data communication networks is used to design, measure, monitor, troubleshoot and improve these data networks using an accurate site-specific model of the physical environment and the components comprising the data network.

Description of the Related Art

Communications networks are used to send information from one place to another. This information often takes the form of voice, video or data. To transmit information a communications network breaks down a message into a series of numbers. These numbers describe how to construct the information using some predetermined method. For example, the numbers could represent digital samples of the signal voltage that should be applied to a speaker so that the speaker reproduces the sound of the voice, as shown in Figure 1. The information is in this case the voice message, which was transmitted over the communications network.

The process of representing information can be analog or digital. In an analog communications network the message that is transmitted is a continuously changing number. In a digital network, numbers that change at discrete, regular intervals, instead of continuously represents the message. The signal is represented by a single number each interval. This number may be converted to a binary form so that the entire message can be represented as a finite number of ones and zeros. Each binary digit in the message is called a bit. These bits are transmitted and interpreted by the receiver as the message. Binary and digital versions of a signal are shown in Figure 2.

Data communication networks are a specific type of communication network that transmit digital information, represented as bits or bytes (a group of 8 bits), in an indoor or outdoor, wired or wireless network from a transmitter to a receiver. While

conceptually simple, the means of transmitting the data from some point A to some point B are complicated and varied in implementation. Hundreds of protocols, hardware devices, software techniques and programs exist to handle how data is sent correctly and efficiently. The exact performance of a given data communication network is extremely difficult to predict or even measure because of this complexity and additionally because of the performance effects of the time varying nature of data communications networks and the channels they operate in.

Data communication network can be classified as either a circuit switched or a packet switched network. Both network types use channels to transmit information. A **channel** is a named communications path between users of a communications network. A channel may consist of many different individual hardware devices and is a specific route between a transmitter and a receiver. In a circuit switched network, information is transmitted by way of an exclusively reserved channel. A network channel is reserved for the sole use of a single transmission and bits are sent all at once. An example of this is the transmission of a document using a fax machine. In this case the fax machine converts the image of the document into pixels. Each pixel is a small, dot-sized, rectangular piece of the paper. Each pixel is considered to be either black or white. The data that will be transmitted is a series of bits that represent whether each dot is black or white. When the message (in this case an image of a document) is ready to be sent from one fax machine to another, a telephone circuit is dedicated to the data transfer by placing a telephone call on the plain old telephone system (POTS) communications network. The telephone line is used exclusively by the fax transmission, making it a circuit switched transmission. After establishing a connection, all data is sent from the first fax machine to the second in a single, long stream of bits. The bits in this case are transmitted as different frequency tones on the telephone line. A high pitched toned may represent a "1" while a low pitched tone may represent a "0." The receiving fax receives the bits of the message by translating the series of high and low pitch tones into data bits. The receiving fax machine will then be able to reconstruct a copy of the original document by drawing a black dot at the locations indicated by the data bits.

Packet switched networks are another type of data communication networks in which all data bits are transmitted as many, small chunks of data bits called packets and

sent individually from one location to another. A **packet** is a self-contained portion of a full message that is made up of a header, data bits, and sometimes footer. The packet contains information in the header and footer that allows the data communications network to properly transmit the packet and to know of which message the data in the packet is a part. The header generally is labeled with an identifier that the network uses to forward the packet to the correct receiver. The header and footer information are often used to reassemble the packet with other packets to reform the original message and to check if errors were made in the transmission of the packet. The receiver can assembles all received packets into the original message by throwing away the header and footer headings and reassembling the data bits from all packets into the original message.

Packet switched networks are classified as connection oriented or connectionless depending on how the packets are transferred. In **connection-oriented** networks, a network channel is used predefined for each transmission. While this transmission can consist of multiple packets, the route from transmitter to receiver is already established, so that all packets sent on this channel can immediately be sent directly to the receiver. Whereas, in **connectionless** networks, packets are sent simultaneously on a shared channel in multiple transmissions. In this case, packets require an identifier that gives the address of the receiver. This address is understood by the communications network to allow the packet to be properly sent to the correct receiver. Since each packet can be transmitted separately and thus interleaved in time with packets from other transmissions, it is generally more efficient to use a connectionless transmission method when using shared network resources.

An example of a connectionless, packet-based transmission is a file transfer between two computers on an internet protocol (IP) based, Ethernet network that both computers are attached to. In this case, the file that is to be transmitted is fragmented at the transmitter into appropriate packets and labeled with the IP address, which is the identifier used by the network to forward the packet to the correct receiver. The packets are then sent from the transmitting computer to the receiving computer. The Ethernet network is capable of supporting multiple file transfers from many different computers all using the same network by controlling the flow of packets from each destination in a

shared fashion. The receiver then assembles the packets into an exact copy of the original file, completing the transmission.

All data networks utilize some form of communication protocol to regulate the transmission and reception of information. A protocol is the set of rules that all hardware and software on a communication network must follow to allow proper communication of data to take place. Many hundreds of protocols are in active use today in the worldwide exchange of information. Some of these protocols, such as the Transport Control Protocol (TCP) or the User Datagram Protocol (UDP), define the way in which the network is accessed. Other protocols, such as the Internet Protocol (IP) or the File Transfer Protocol (FTP), define how messages and packets are formatted, transmitted, and received.

All data communication networks may be analyzed in some fashion to evaluate the efficiency and performance of the network as well as to confirm the network is functioning properly. In order to evaluate the functionality of these data networks, certain performance criterion is used. These performance criteria include, but are not limited to: throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time. Each performance criterion specifies a different performance parameter of a data communications network. These criterions are further described below.

A **link** is a portion of a path followed by a message between a transmitter and a receiver in a data communications network. Network connection often consists of individual devices relaying network packets from the transmitter to the receiver. This means a network connection can consist of several actual transmissions between the original transmitter and the intended receiver. Each individual relay is called a link. Typically a full network connection consists of several links. Performance criteria can be measured for each individual link.

Throughput is a measurement of the amount of data, which can be transmitted between two locations in a data network, not including header, footer or routing information bits. It is generally measured in bits per second (bps) and can be specified

for hardware, software, firmware or any combination thereof that make up a connection between transmitter and receiver in a data communication network. **Bandwidth** is similar to throughput as it is defined for data communication networks. Bandwidth is the raw data rate that may be sustained by a given communications network and is generally slightly higher than throughput. For instance, an Ethernet link may be rated for a 10 Mbps bandwidth but a measurement of an actual file transfer may show that the rate at which data can actually be transferred between two computers using that same link is only a throughput of 6.8 Mbps as is taught in Peterson, L. L. and Davie, B. S., *Computer Networks: A Systems Approach*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

Quality of service (QoS) is a term that is used to describe networks that allocate a certain amount of bandwidth to a particular network transmitter. Such a network will allow a transmission to request a certain bandwidth. The network will then decide if it can guarantee that bandwidth or not. The result is that network programs have a reliable bandwidth that can more easily be adapted to. When the quality of service of a connection is measured, the bandwidth that the network claims to offer should be compared to the actual bandwidth for different requested bandwidths.

Figure 3 illustrates the difference between bits, packets, and frames. Various error rates are defined for data communication networks for bits, packets and frames. Bits are the core of packets and frames. The bits are the actual message data that is sent on the communications network. Packets include the data bits and the packet header and packet footer. The packet header and packet footer are added by communications network protocols and are used to ensure the data bits are sent to the right location in the communications network and interpreted correctly by the receiver. The packet header and packet footer are also used to ensure that packets are sent correctly and that errors are detected should they occur. Frames are simply series of bits with a certain pattern or format that allows a receiver to know when one frame begins or ends. A **bit error rate** is the percentage of bits that reach the receiver incorrectly or do not reach the receiver as compared to the number of bits sent. **Packet error rate** or **dropped packet rate** is the percentage of packets that reach the receiver incorrectly or do not reach the receiver as compared to the number of packets sent. A **frame error rate** is the percentage of frames

that reach the receiver incorrectly or do not reach the receiver as compared to the number of packets sent.

Several terms are used to quantify the delay times of certain network events and may be expressed in time units of seconds. **Packet latency** is the time required to send a packet from transmitter to receiver, while **Round Trip Time** (RTT) is the time required for a packet to be sent from transmitter to receiver and for some sort of acknowledgement to be returned from the receiver to the original transmitter. Propagation delay, transmission delay, processing delay, and queuing delay describe the time required for different portions of a packet transmission to occur. The packet latency and round trip time of a network connection is found by summing the propagation delay, transmission delay, processing delay and queuing delay of either a one way or round trip network connection. **Propagation delay** is the time required for a packet to traverse a physical distance from the transmitter to the receiver. **Transmission delay** is the time required from when the first bit of a packet arrives for the last bit of the same packet to arrive. **Processing delay** refers to the time required to subdivide a data message into the individual packets at the transmitter, and to the time required to recreate the full data message from the data packets at the receiver. **Queuing delay** refers to the time spent waiting for shared resources to be freed from use by other transmissions. These delay times are all useful for evaluating different aspects of a data communications network performance.

Two other network performance criteria are packet jitter and bandwidth delay product. **Packet jitter** is the variation in the arrival time of packets that are expected to arrive at a regular rate and is typically measured in time units of seconds. A **bandwidth delay product** is the number of bits that can be sent from a transmitter before the first bit sent actually reached the receiver. The bandwidth delay product is found by multiplying the packet latency of a certain link by the bandwidth of the same link.

Handoffs occur in wireless data networks when a user moves out of range of one access point and into range of another access point. In this situation, the first access point must pass the responsibility of delivering data to the wireless user to the second access point. The **handoff time** is the amount of time required by an access point to coordinate

with another access point to allow a wireless user to connect from one access point to another access point.

Software utilities and hardware devices have been developed to measure the performance statistics of data communication networks throughout the lifetime of data communication networks. Some of the more common and relevant tools are briefly described here.

A large number of command line tools are available to quickly allow a computer user to measure the approximate network performance a connection. Many command line programs are widely used on Windows, UNIX, and Macintosh operating systems and are somewhat useful for diagnostic and troubleshooting work on data networks. Examples of these command line programs include `ping` and `traceroute`. Using the `ping` command line program, it is possible to measure approximate data latency between different data network devices and confirm that a network connection is available between the two devices. Network connections often consist of individual devices relaying network packets from the transmitter to the receiver. This means a network connection can consist of several actual transmissions between the original transmitter and the intended receiver. Each individual relay is called a link. Typically a full network connection consists of several links. Thus, using `traceroute`, a probable path from relaying device to relaying device between the transmitter and the receiver can be determined so that the exact links used by the network transmissions are known. Additionally, using `traceroute`, the time required to traverse each individual link can be measured, and individual links that may not be functioning properly can be identified.

Various command line tools that are not included with operating systems have also been developed for somewhat more accurate, though still approximate, network measurement tasks. Some examples of these tools include `ttcp`, and `tcpdump`. `ttcp` stands for Test TCP http://www.pcausa.com/Utilities/pcattcp.htm and is a free utility originally written for the BSD Linux operating system, but is now available for other UNIX operating systems as well as Microsoft Windows. `ttcp` is a basic point-to-point throughput measurement program that allows the user to control buffer sizes, various low level TCP or UDP options and control the exact data that is sent.

tcpdump is a simple utility from the class of tools called packet sniffers. Packet sniffers allow a network administrator to view the content, including header and footer information, of actual packets on a network. tcpdump allows a user to view (or "sniff") packets that are received by a host (though not necessarily intended for that host) and display all headers that match a certain user configurable pattern. tcpdump is a useful tool for troubleshooting network connections because it allows the user a direct view of the exact network traffic.

Pathchar is a UNIX command line utility which is capable of measuring the throughput between each network relay device (e.g. a router, hub or switch) in a data communications network by varying the size of the test packets that it transmits and measuring the latency of that packet transmission to various network points. The tool functions very similarly to traceroute but adds the ability to measure throughput (albeit indirectly), not just latency. Pathchar is only limited by the network hardware in the links it measures. The program needs a hub, switch or computer to transmit an acknowledgement to the test packets. This means that hidden links that do not transmit acknowledgements such as Ethernet bridges can not be measured individually by pathchar.

Several companies produce network measurement, monitoring, tracking and forecasting utilities. Some of the commonly used utilities are discussed below. The tools selected are illustrative of the state of the art of network performance measurement and asset tracking.

netViz, made by netViz Corporation, is a visual database program that allows a network administrator to track network equipment in terms of its physical location and in terms of its logical layout. This program allows the user to input the settings, locations, and configurations of the network and track the assets in your network. The tool is capable of storing this data in a two dimensional geographic map or floor plan of a building, but can not track devices in a three dimensional manner. The tool, also, does not provide network testing, measurement or monitoring features, nor does it support communication prediction or performance visualization capabilities for data communication networks. It is simply a database for accurate and useful tracking of assets.

NetIQ Corporation (was Ganymede Software, Inc.) makes a network monitoring and forecasting tool called Chariot. Chariot is able to measure throughput and many other network statistics for all popular network types, operating systems and protocols available today. The program uses a server and several small agent programs to collect data. The server checks each agent, installed on user's computers throughout the network, at regular intervals and uses them to measure network characteristics while storing the results on the server. These agents can measure the network connection to the server or to one another and are capable of simulating the traffic patterns of any network program and any desired usage pattern of one or more hypothetical users. The program is also capable of using the measured data to forecast expected network traffic and conditions.

Visonael Corporation (was NetSuite Development Corporation) makes several network tracking and measurement products, including NetSuite Audit, Design and Advisor. These software products are capable of automatically detecting the network equipment in use. This information as well as manually entered information can then be placed in a physical or logical diagram of the network. Visonael also offers a product to verify that networks have been configured properly and can make recommendations for configuration changes and upgrades to your network. The software products are unable to predict or measure the performance in a site-specific manner and are not capable of predicting the performance of wireless based data communication networks.

SAFCO Technologies, Inc. (now a part of Agilent Technologies) has recently created several wireless data measurement and prediction products. SAFCO makes a product called DataPrint, which is used to measure various data performance parameters of mobile telephone data networks. Their WIZARD® product also supports analysis of the effects of wireless data transmission on the overall capacity and Quality of Service for a wireless telephone network.

Wireless Valley Communications, Inc. has created a new concept called *SitePlanner*, which is capable of measuring and tracking the site-specific network performance of a data communications network in a physically accurate three-dimensional model of an environment. *SitePlanner* uses a software module called *LANFielder* to measure throughput, packet latency and packet error rates for any wired or

wireless network connection in any Internet Protocol (IP) data communications network. Additionally, *SitePlanner* allows a full network to be modeled in a physically accurate manner so that precise measurements and performance predictions can be made in a site specific way. *SitePlanner* also allows a logical layout of a network to be stored simultaneously with a physical layout. The tool also stores both a logical interconnection and a site-specific model of any communications network using a Bill of Materials format.

In addition to network measurement and asset management tools, a good deal of research has taken place in the field of wireless data communication network performance. The research described below represent the work, which pertains to the field of this invention.

Xylomenos and Polyzos have explored the performance of UDP and TCP packets sent over several fixed, IEEE 802.11 wireless LAN network connections in Xylomenos, G., Polyzos, G. C. "TCP and UDP Performance over a Wireless LAN" *Proceedings of IEEE INFOCOM,* 1999. The research has focused on throughput limitations caused by software implementation issues and operating system shortcomings. The researchers used their own modified version of the command line utilities `ttcp`, `tcpdump` and `nstat` under Linux to perform UDP and TCP throughput tests. All measurements were taken between three fixed locations and focused on varying the wireless LAN card types (PCMCIA or ISA) and the end-user computer hardware (i.e. Pentium 150 with 48 MB of RAM vs a Pentium 200 MMX with 64 MB of RAM). The conclusions the researchers make are recommendations for changes in the implementation of network protocols and linux operating system enhancements. The measurements did not consider the effects of different physical locations or the effect of variations in the wireless communications channel on the network throughput.

Maeda, Takaya and Kuwabara have published a measurement of wireless LAN performance and the validity of a Ray tracing technique to predict the performance of a wireless LAN network (Maeda, Y., Takaya, K., and Kuwabara, N., "Experimental Investigation of Propagation Characteristics of 2.4 GHz ISM-Band Wireless LAN in Various Indoor Environments," *IEICE Transactions in Communications*, Vol. E82-B, No. 10 Oct 1999). The measurements were tracked in a small, highly radio frequency

(RF) controlled environment and indicated that the wireless LAN throughput and BER were correlated to the delay spread of the wireless channel. The researchers have not however presented any way to actually predict a bit error rate or throughput from the predicted delay spread profile output by a ray tracing technique.

Duchamp and Reynolds have presented IEEE 802.11 wireless LAN, packet throughput measurement results for varying distances in Duchamp, D., and Reynolds, N. F., "Measured Performance of a Wireless LAN," *Local Computer Networks, 1992. Proceedings., 17th Conference on* , 1992. These measurements were performed in a single hallway. Thus, these measurements, too, suffer from failing to measure a representative environment. The researches did not present a model to predict their results nor did they attempt to validate any sort of computer prediction technique.

Bing has also presented measured results of the performance of IEEE 802.11 Wireless LAN in "Measured Performance of the IEEE 802.11 Wireless LAN," *Local Computer Networks, 1999. LCN '99. Conference on* , 1999. Bing presents delay and throughput measurements as well as theoretically based throughput and delay time tabulations for various wireless LAN configurations. The results are given as optimal results, however. All measurements were performed in such a way that the wireless channel had the least possible effect on the overall throughput and delay times. Therefore, the results presented are an upper bound on best possible results and do not extend into a site-specific wireless LAN performance prediction technique.

Hope and Linge have used measurements to calculate the needed parameters for predicting the coverage area of a Wireless LAN network in an outdoor environment by using the Okumura model. The researchers have made outdoor measurements with standard IEEE 802.11 wireless LAN modems to calculate the needed parameters of the Okumura model and have presented these results in Hope, M. and Linge, N., "Determining the Propagation Range of IEEE 802.11 Radio LAN's for Outdoor Applications," *Local Computer Networks, 1999. LCN '99. Conference on* , 1999. Using these results, The coverage area outdoors could be calculated. However, the results do not allow the user to predict the performance in terms of throughput or latency of a wireless LAN.

Several patents related to, and which allow, the present invention are listed below:

Patent No. 5,491,644 entitled "Cell Engineering Tool and Methods" filed by L. W. Pickering et al;

Patent No. 5,561,841 entitled "Method and Apparatus for Planning a Cellular Radio Network by Creating a Model on a Digital Map Adding Properties and Optimizing Parameters, Based on Statistical Simulation Results" filed by O. Markus;

Patent No. 5,794,128 entitled "Apparatus and Processes for Realistic Simulation of Wireless Information Transport Systems" filed by K. H. Brockel et al;

Patent No. 5,949,988 entitled "Prediction System for RF Power Distribution" filed by F. Feisullin et al;

Patent No. 5,987,328 entitled "Method and Device for Placement of Transmitters in Wireless Networks" filed by A. Ephremides and D. Stamatelos;

Patent No. 5,598,532 entitled "Method and Apparatus for Optimizing Computer Networks" filed by M. Liron et al.

Patent No. 5,953,669 entitled "Method and Apparatus for Predicting Signal Characteristics in a Wireless Communication System" filed by G. Stratis et al.

Patent No. 6,061,722 entitled "Assessing Network Performance without Interference with Normal Network Operations" filed by W. J. Lipa et al.

Patent No. 5,831,610 entitled "Designing Networks" filed by D. L. Tonelli et al.

Patent No. 5,821,937 entitled "Computer Method for Updating a Network Design" filed by Tonelli et al.

Patent No. 5,878,328 entitled "Method and Apparatus for Wireless Communication System Organization" filed by K. K. Chawla et al.

An existing product, *SitePlanner*, described in Patent Applications 09/352,678, 09/221,985, 09/318,842, 09/318,841, 09/318,840, and other inventions cited previously, are useful for designing, measuring and optimizing communication networks because the products can predict radio frequency effects directly relevant to any communication network for any physical location. That is, using information about the physical layout of any communications network and the configuration of its hardware, prior art can provide a visual display of the expected received signal strength intensity (RSSI), signal to noise ratio (SNR), relative received power intensity, best server, and equal power location, as well as other useful parameters for voice and data networks, for any modeled physical

location. These statistics can be predicted for the forward link (from a transmitter to a receiver), or for the reverse link (replies from the original receiver to an original transmitter) directions for wireless networks. The site-specific nature of these predictions translates directly into quick and useful visualizations of the quality of a communication network. However, the prior art does not consider methods for properly modeling (e.g. predicting) the complexities that go into determining the values for actual network operating performance parameters that are simultaneously affected by multipath propagation, multiple interfering data transmissions from multiple sources, signaling protocols, equalization methods, and the like. Predicting bit error rates, data throughput, delay, and quality of service metrics in a 3-D physical model of an actual site-specific environment is a very difficult task, and one which has not been solved heretofore, since different modem vendors have different and often-times proprietary methods for mitigating or dealing with multipath, multiple access interference, protocol type, packet size, and noise. That is, the state of the art shows how to measure and display and make predictions for basic communication metrics but does not provide specific prediction algorithms for a wide range of important data network performance parameters in a reliable, site-specific manner. Simply put, a wireless network performance prediction engine, which is able to consider an accurately modeled 3-D physical environment, and which exploits knowledge of specific component layouts, is not found in the prior art and is not obvious due to the complex nature of having to account for all possible physical, electrical, and logical factors for all components in a network, as well as the factors within the channel of a wired or wireless network, that lead to actual network performance.

Prior published papers in the area of communications networks do not demonstrate the ability of any invention to accurately predict three dimensional, site-specific network performance criteria. The paper mentioned earlier by Maeda, Y., Takaya, K., and Kuwabara, N., "Experimental Investigation of Propagation Characteristics of 2.4 GHz ISM-Band Wireless LAN in Various Indoor Environments," *IEICE Transactions in Communications*, Vol. E82-B, No. 10 Oct 1999 has demonstrated the ability to predict the delay spread of a wireless channel and that the prediction correlates well with throughput, but the described method is not actually able to predict

throughput or any other network performance criteria. While some prior art has demonstrated the ability to track network assets in a two dimensional manner with some physical accuracy, these products have not contemplated the ability to predict future network performance for similar or different physical environments (e.g. installations). Many products allow the measurement of network performance criteria, but no prior art has contemplated a 3-D representation of the physical environment with the physical installed base of components, for the purpose of predicting network performance parameters. Furthermore, no tool or invention exists that can directly measure, track the assets of, predict the network performance criteria of, and visualize the network performance criteria of a data communications network in a three-dimensional site-specific manner.

Furthermore, none of the prior art has considered an invention that can perform precise, site-specific, three dimensional performance prediction of complicated network parameters using a priori measurements from an existing network, or by using the site-specific layout details of particular components within a data communications network. Furthermore, none of the prior art has autonomously measured site-specific network performance parameters from an actual network system or subsystem using a system of agents, and then applying the specific 3-D locations and measured results of those measurement agents to create a 3-D prediction model for future network performance in the same, similar, or different physical environments. Furthermore, none of the prior art has developed a hierarchical system of measurement and prediction engines, that have the ability to measure network performance parameters in the field and have the ability to produce a predictive engine for network performance parameters that can be shared with remote prediction engines, for the purpose of measuring and predicting network performance in a 3-D site-specific manner.

The present invention extends the prior art in a non-obvious way to provide wireless and wired network performance prediction, visualization and measurement for important data communications-specific performance criteria, also called performance parameters, such as throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet

jitter, bandwidth delay product and handoff delay time in a site-specific, three dimensionally accurate manner. The invention contemplated here allows novel distributed measurement techniques for the above performance parameters. Furthermore, prediction methods for the above performance parameters are created, which use network measurements or applied values derived from other means, and which also use the radio frequency environment, the 3-D physical network layout, the channel propagation characteristics of a site-specific environment, and the specific physical layout of components, for the computation of predicted performance parameter values.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention is capable of predicting, measuring, and optimizing the performance of a data communications network. The invention is capable of representing a detailed layout of a fully deployed or contemplated communications network within a physically accurate computer representation or model of a three dimensional environment. This allows the invention to store measurements and determine performance predictions within a site-specific representation of the physical environment, while using specific information about the network entities, components, subsystems, and systems used to create the actual or contemplated network. Measurement agents, with known or assigned 3-D position locations, are used to measure in-situ performance parameters that are transmitted to a server processor. The server processor has an accurate 3-D model of the environment, and is able to process the measured data, and is also able to provide predictive models using site-specific information that may be independent of or may make use of measured data. The server process is able to communicate with other server processors in a hierarchical manner, such that data fusion from many remote or collocated networks may be assembled and used for display and cataloging of measurements that may or may not be used for creation of predictive performance models. Alternatively, each server processor is able to compute predictive performance models without the use of measured data, by simply considering the site-specific layout of physical components, as well as the specific delay times, transit times, propagation effects, and multipath and noise factors within the physical network.

The invention can predict throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time in a site-specific, three dimensional model of any environment. The invention can measure and predict all of the above performance criteria and store the results in the physically accurate three-dimensional model of a data communications network and the environment in which it is installed. Further, the invention can display the measured and predicted performance criteria for any data communications network in the three dimensions, site-specific model of the environment. These capabilities provide a powerful design environment for wired and wireless networks, which allows one skilled in the art to quickly and easily design, measure, predict, optimize and visualize data network communication performance criteria in a three dimensional, site-specific manner using methods never before contemplated.

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

Figure 1: Example transmission of data over a communications network

Figure 2: Creation of a digital signal from an analog signal

Figure 3: Illustration of the difference between bits, packets and frames.

Figure 4: Illustration of the data displayed in each node of the Tree View of a data communications network.

Figure 5: Method for creating a 3-D site-specific model of the environment

Figure 6: Method for optimizing a data communications network using predictions

Figure 7: Method for optimizing a data communications network using measurements

Figure 8: Method for optimizing a data communications network using predictions and measurements.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS OF THE INVENTION

The present invention contemplates the abilities to design, measure, predict and optimize the performance of a data communication networks. The invention uses an

accurate computer generated three-dimensional model of a communications network stored in a computer database environment. The invention allows the user to place the network cables, hubs, routers, switches, bridges, wireless access points, amplifiers, splitters, antennas (point, omnidirectional, directional, leaky feeder, distributed, array, etc.) transceivers, terminators and other communications and computer networking equipment in their actual modeled physical locations. The present invention uses this highly accurate model of the physical layout of infrastructure to allow a user to visualize, predict and optimize the performance of any communication network in any 3-D site specifically modeled physical location.

The present embodiment of the invention is capable of modeling the site-specific communications network hardware from both a logical connection and a physical location perspective. The invention uses well-known hierarchical, logical connection concepts (sometimes called topological layout) suited for data communications networks in combination with a physically accurate, site-specific model of the data communications network. Previous inventions focus on only the topological, or relational, layout of network components with one another. This invention uses specific 3-D modeling and, therefore, allows highly accurate asset management and facilities tracking of actual installed equipment while simultaneously providing for network performance prediction, measurement, and design capabilities that exploit the exact physical dimensioning of the network. In addition, the invention simultaneously stores an inventory of important network-specific and equipment-specific characterizations of all objects used in the network, such as vendor, model number, network hardware type, operating system version, firmware and software type and version. The hierarchical, tree based model of the network is termed the Layout View. The physically accurate, site-specific model of the network is termed the Site View, whereby the attributes of each device can be displayed, stored or printed by selecting a particular item or node within the 3-D environmental model. Further, network hardware and software components can be interactively replaced, removed, reconfigured or moved to a new location in real-time using either the Layout View or the Site View. Each of these ways of tracking and designing a network in a 3-D site specific model of the environment with accurate dimensioning of true spatial position are further described below and are used to create a

Bill of Materials for the modeled data communications network, whereby a preferred embodiment is described in co-pending patent application "Method and system for designing or deploying a communications network which considers component attributes," filed on August 4, 2000.

An example of some of the information contained in the Layout View, hierarchical layout of a data communications network is shown in Figure 4. In the figure, a tree structure is used to display all hardware in the network. Each node in the tree contains information which is used to track the true physical location, logical layout and electrical, optical and electromagnetic connections for the data communications network hardware as well as any version numbers and settings of software or firmware running on that network equipment and the known performance parameters of that equipment, including the device throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time.

The Site View of the invention has a physically accurate, three-dimensional modeling capability to display all network devices in a site-specific model of the environment that the network is located in. That is, the preferred embodiment of the invention allows each modeled hardware and software device to be placed in a three-dimensionally accurate manner and to track attributes of that device relevant to data communications networks. These key attributes include such items as the hardware type, hardware configuration, software type, software configuration, operating system version, as well as upper, lower and "typical" specifications for each component. These specifications may include important device or network subsystem operating parameters, such as throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time. As described below, the Site View supercedes prior art described in previous co-pending patent applications by Wireless Valley Communications, Inc by hereby considering the difficulties and solving data network prediction, design and optimization problems for more complicated data

communication networks. Specifically, this new invention considers physical, site-specific modeling techniques and performance prediction methods and design methods for data network systems, both wired and wireless, which have performance characteristics that are based on much more complicated physical factors than just radio signal strength, interference, or multipath alone. In particular, for data communication networks, many additional factors, which relate to particular network equipment or modem designs, such as packet size, equalizer deployment, modulation methodology, source and error coding methods, packet protocols, as well as the number of co-channel network users, the type of persistency used for packet retransmission, or the multipath propagation effects in a wireless system, provide additional factors that must be considered in the design of a communication network that is designed for data traffic as opposed to simply voice traffic.

One difficulty that today's network designer or network system administrator faces is that most networking equipment uses proprietary, non-public methods for implementing various network devices, and these methods vary by specific vendor. Thus, it is difficult to form reliable prediction models by just using basic physical propagation models in a wireless network, for example. As data transmission technologies such as Bluetooth, DSL, Voice over IP, and future packet-based cellular radio network architectures proliferate, the ability to predict and measure specific network performance parameters will become increasingly important, and the ability to properly incorporate measurements into 3-D prediction models for performance parameters will be important for proper network deployment.

This invention considers attributes relevant to packet-switched data communication networks, which require more extensive and non-obvious modeling when compared to traditional cell phone or telephone voice communication systems that are circuit switched and use a dedicated single user (or bounded number of users) per assigned operating channel. Data communication networks have performance criteria that are specific to packet-based systems and that are not useful to all types of communication networks contemplated previously. For this reason, the preferred embodiment of the invention can additionally predict the throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet

latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time, based on the specific physical and spatial location of each network component, as well as the physical, electrical, and logical attributes of the specific components. The performance prediction methods take into account all devices and network equipment, including the physical locations within the 3-D modeled environment, using the constructed Bill of Materials of the network within the 3-D modeled environment, and is capable of performance predictions for any desired location in the modeled network and environment, where a location may be within a room, at a particular location in a room, within a building, or in an outdoor region of varying granularity, depending on the requirements of the user.

Prediction of throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time and other performance parameters may be carried out by predicting the performance for all wired network components separately from the performance of wireless components, and then combining the results to get the net network performance. To predict the performance of a wired communication link, it is important to combine the known effects of each piece of wired equipment for the specific network settings, also known as operating or performance parameters, such as protocol type, data type, packet size, and traffic usage characteristics, firmware type, operating system type, typical network performance characteristics, and typical, average, peak, and minimum traffic load on the network. For wireless network components, additional factors concerning propagation, signal strength, interference, and noise must be considered.

The preferred embodiment of the invention allows data communication networks to be accurately characterized for performance prediction in a number of novel ways.

First, performance prediction may be based on field measurements from an actual network, where prediction models are formed from some fit to measured data (an empirically-based model). These field measurements may be made manually, or autonomously, using data collectors, or agents, that continually measure and update the

specific network performance metrics that are observed within the physical environment. These data collectors are able to measure, or are assigned, specific 3-D position locations within the physical environment, such position locations corresponding to known positions in the computer model which is used to model the physical environment of the network, and which are known or which are transmitted to a measurement server. The data collectors may be individuals who manually or automatically record or collect observed network performance such as one or more of the aforementioned performance parameters, or the measurement agents may be software or hardware or firmware applications that run on top of network applications for the purpose of routinely measuring for one of more of the numerous network performance parameters listed previously. The agents may be fixed, or may be portable, and may have position location devices, such as GPS or inertial navigation, or an internal map which is activated by a user, so that the position location of the measurement is sent to a server processor. The agents are presumed to have two-way communication with a server processor that may be collocated or remotely located. Measurements from one or more data collectors are routinely or periodically collected and then transmitted, either by wireless or wired means, or by real-time or stored means, to a server processor which is either collocated, or remotely located, from one or more of the measurement agents. For example, the measurements may be recorded by autonomous agents and then transmitted over a fixed network to a processor that integrates all measurements and computes statistics for observation. The measurement sources have known positions in 3-D, or may not be known and used to form a gross estimate of observed network performance. The collected measurements may be sent in real time, stored and forwarded, or sent as file transfers via many means, such as via email, over the world wide web, via wireless, wired or optical links, or in a storage device. This "in-situ" measurement data is passed, with the 3-D position location when available, to the server, which catalogues and processes the specific measurement information. Using the measurement information from the data collectors, the server is able to provide a predictive model by using knowledge of the physical 3-D environment, and by fusing the many collected inputs into a simplified model of performance that is related to the 3-D physical representation of the world.

In the preferred embodiment of the invention, the server stores and processes the physical location of all measurement devices (where available) as well as all network components and their electrical, logical and technical configuration, while also considering cost and maintenance issues associated with each network component. Using the preferred embodiment, a data communications network can be designed, deployed, tested, predicted, measured, optimized and maintained by collecting the measured data from one or more agents, and processing them at the server to determine a proper prediction engine that allows future network layout with a desired outcome prior to installation. The server engine is able to display the measured results, in a site-specific manner from each measurement agent (that has site-specific information) so that predictions may be compared to measurements on a visual display of a computer or in a stored means (such as an ASCII file comparing predicted versus measured performance parameters).

It is important to note that each measurement agent may be a server, capable of fusing measurement data with the site-specific 3-D layout of the network components and the physical environment. Therefore, each measurement agent may serve as a centralized processor, as well, so that many different physical locations of a particular network may be measured and predicted for performance. Servers may then be collocated or remotely located from the measurement agents, which collect, display, store and use the measurements to form predictive models. In the case of a remote server that receives measurement data from measurement agents, it is possible to remotely monitor, and then predict, the performance of a network that is physically very far from the particular server processor.

The measurement agents may be further controlled or configured by the server processor, so that the agents may be tuned or instructed to perform different types of measurements, such as different packet transmission rates, observation intervals, averaging intervals, protocol types, or other sensible changes which those skilled in the are would conceive for proper network optimization.

A second method for predicting the performance of network parameters is through the use of analytical or simulation methods. These analytical and simulation methods are well known, and relate the physical and electrical characteristics of the

network channel to the physical and electrical characteristics of the various network components. Through simulation or analysis, it is possible to determine approximations or bounds on the typical values that one would expect in an actual network configuration of specific components. The present embodiment of the invention allows a user to enter the results of such calculations, so that they are applied as inputs to the prediction model. Therefore, a user of the invention may simply enter "blind" values, based on known methods, as a first guess approach to forming a prediction model of network performance. These first-guess values may then be iterated by the invention, based on feedback from the site-specific measurements of the actual network.

A measured set of data for a typical operating environment with multiple transmitters in a wireless or wired network, are recorded, stored and displayed by the invention, as taught in the previous description about the measurement agents and server processors. Then, some form of best-fit algorithm (minimum mean square, median filter, etc.) may be applied to the predictive models provided in the equations taught below to provide a table look-up for determining proper performance values (e.g. proper values for constants or functions in the performance parameter equations listed below) for a particular site-specific network design. This table look up method allows measured data to be translated into values that may then be used to drive predicted data for all subsequent predictions conducted within the same site-specific 3-D environment in which measurements were made. Alternatively, best guess performance metric values, or best guesses for the functions or constants in the equations listed below, may be fed into the invention, either manually or automatically through a storage means or via a wireless or wired means from a remote or collocated location, for a specific 3-D modeled network environment, wherein the predicted performance at any space or location with the 3-D environment is based on the first, best guess, predictive models. As explained subsequently, these initial best guess, or "blind" models may be based on simulation, analysis, or some combination thereof. The empirically-based predictive models and the initial best guess predictive models may be used in subsequent environments, different from the environment for which measurements or best guesses were made, and the invention allows a catalogue of models to be used easily by the user for subsequent network prediction or design. Measurements of actual network performance may then be

overlaid and displayed and stored simultaneously with the network prediction parameters, for rapid comparison. Furthermore, optimization routines compute the best values for minimum error for new predictive models that match the measured network performance within the environment. Thus, the invention allows the user to relate empirically-derived predicted performance parameters or initially guessed network performance parameters within a 3-D site specific configuration of the actual installed or contemplated network, using specific information and physical locations about the network devices and by using the models for wired networks and wireless propagation, multipath, and noise. The model techniques for this invention fuse the many factors that impact network performance into simpler models that support prediction and comparison of measured versus predicted network performance for radio/wireless and wired networks. Thus, performance prediction can be ascertained and compared to measured network performance for use in ongoing network deployment.

Furthermore, by comparing measured network performance metrics to predicted metrics, the invention allows new field measurements to update the previous prediction models in a convenient method, which provides a catalogue of models that is stored and displayed to the user either locally or remotely. Alternatively, using the hierarchy of servers, it is possible to use remotely located servers which compute, transmit, or receive such measurements and predictive models for the remote use, display, measurement and storage of model parameters and results. This is particularly convenient for network administrators who wish to monitor the performance and design of networks that are physically distant from the network of interest.

Measurements of a particular device for desired performance criteria is accomplished either by using the measurement software module available in the preferred invention or by importing a log file from another software or hardware measurement tool. The measurement module within the preferred invention allows the measurement of the performance of any specific portion of a communications network using two or more software programs which are installed and run on either sides of a device or devices. These software programs are called agents. By sending test transmissions between two agents across a specific network connection the preferred invention can measure any

particular performance criterion. The results of these measurements are stored for a particular portion of the network.

The preferred embodiment of the invention can also import the logfiles of other measurement programs such as `traceroute` to measure specific links. This functionality allows site-specific measurements made by external programs to be stored site-specifically. This is accomplished by a two-pass method described in patent 09/221,985, "System for Creating a computer model and measurement database of a wireless communication network" by T. Rappaport and R. Skidmore, filed December 29, 1998. To import a logfile a user simply clicks a point in the model of the environment for each data point to assign a location for each point in the logfile.

In performing network performance measurements, especially for wireless data networks, it is important to know the difference in performance for transmission and reception. This is why the preferred invention can measure the transmission and reception components of the average network statistics. To measure the transmission direction, the size of test packets is varied. By changing the size of the packet sent and the size of the packet returned, the transmission and reception statistics can be separated. This allows a network designer to identify problems in transmission that might otherwise be masked by apparently good reception.

Network performance measurements are not useful if the measurements do not mimic the actual data traffic that a network carries. For this reason, the preferred embodiment of the invention is able to mimic the traffic patterns, network protocols and packet characteristics of actual data. Thus, if web browsing performance is being measured, the invention sends small packets from an access terminal to a web server and returns large packets from that server that are typical of text, image and web script file formats. By measuring the performance of such packets, the invention accumulates accurate network statistics for expected web browsing performance.

The measurements of specific traffic types may also be applied to the use of broadcast or multicast packet performance scenarios. The preferred embodiment of the invention is able to measure performance of multiple transmitters or multiple receivers or both of the same packet information. The performance of this type of transmission are different than point to point measurement because shared resources are used more

efficiently in broadcast and multicast scenarios. Thus, the ability of the invention to measure network performance statistics for the overall success of the broadcast or multicast transmission and for each individual transmitter and receiver is quite powerful. This ability allows network designers to better choose which transmitters of multicasts might be redundant or which broadcast transmissions are insufficient to reach all the desired receivers.

In some data communications network, the performance of specific pieces of equipment, such as Ethernet Bridges or even a single cable, is hard to measure because it is transparent to the network layer of a data communications network. For this reason, the ability of the invention to determine the performance of a single device through extrapolation is quite useful. The preferred embodiment of the invention is able to use known performance data for specific pieces of network equipment and extrapolate the contribution of other devices in the network. Measuring and extrapolating enough individual hardware and software links can identify the performance of all network devices. The accuracy and reliability of this procedure heavily depends on an accurate and site-specific model of the data communications network, which the invention possesses.

Extending the extrapolation concept of performance evaluation to the software and hardware components of network equipment demonstrates a further capability of the preferred embodiment of the invention. The invention is able to distinguish in some cases between the performance limits due to software and those due to hardware. For example, in a situation where the transmitter and receiver are the same computer, no hardware is actually involved in the transmission. By measuring network statistics in this situation, one can quantify the performance of just the computer software. By comparing the situation where the transmitter and send are the same to a situation where the transmitter and receiver are different computers the performance of just the computer hardware can be identified. Since the performance of the software in either case will be quite similar, the performance of just the hardware in a connection between two computers can be extrapolated by assuming the software will perform similarly in either case.

Extrapolating the performance of individual network components from measured performance metrics can be time consuming. For this reason, the preferred embodiment of the invention is able to read in data results from a plethora of measurement tools, system utilities and network logfiles to a single internal format. The invention is capable of reading in the output of command line utilities such as `ping` or `ttcp`, the logfiles generated by routers and switches such as `tcpdump`, or even the logfiles of other commercial measurement programs, and these measurement results are stored for use in the predictive engine. The combination of these imported files to a single internal format allows the invention to combine many different measurements and activity logs into a single set of network statistics. This process means the invention requires fewer active measurement campaigns and more diverse and accurate data for better and more accurate network performance modeling.

Accurate, reliable representations of a data communication network require a large number of measured data points. Hence, the preferred embodiment of the invention collects a large amount of data quickly and easily using various methods as described above. The invention does this by providing remote data collection agents, which can be installed on data access terminals or embedded in hardware, software, or firmware within an actual device in the network. The remote data collection agents respond to a server program (the processing server) that controls the measurements made by the remote agent. That is, the remote agent can be directed to make a measurement to or from any other remote agent or processing server using any desired protocol, traffic type, network setting, or configuration. This process does not require any input from a human user at the remote agent's physical location. The agents simply records the data when asked with the correct settings and reports the results back to a server which stores data from all remote agents and other measurement tools. The server can generate a variety of detailed reports and use the data to make predictions about expected network performance in future. Servers can also function as agents. In this manner, servers can be organized in a hierarchy or a distributed fashion. This allows servers to report measurements to one another and make measurements using other agents or servers. A network designer at a server can then use all collected and reported data to identify problem areas such as

fairness or poor distribution of broadcast data, or problem times, such as increased network activity at lunch time with a data communications network.

In order to improve the value of measurement data collected, the preferred embodiment of the invention identifies the exact (if possible) or approximate location of a remote agent. As discussed earlier, remote agents in this case can either be controlled by a user at that physical location, or controlled remotely by a server. In the preferred embodiment of the invention, the agent uses information about the network layout to identify an approximate location. Determining the nearest piece of network equipment and associating the approximate location with the precisely known location of that network equipment accomplishes this. This approximate location can be further refined using dead reckoning, clicking on a location in a map, or using the global positioning system, laser range finders or some other positioning device known now or in the future.

The preferred embodiment of the invention is not only capable of accounting for the effects of different hardware, firmware, software and configuration settings, but it can also predict the effects of just the hardware and firmware, just the software, or of a single configuration setting. The ability of the invention to measure and thus adjust empirically-derived predictions for these effects allows the optimization of the data communications network. By predicting the effects of changing any detailed aspect of the data communications network, a user can immediately visualize the effect of a new component or a setting change. This ability allows a user skilled in the art to design an optimal data communications network by continually making changes and observing the prediction changes.

We now focus on the details for predicting values for network performance parameters based on knowledge of the 3-D site-specific environment as well as the specific components used in the network design.

The throughput and bandwidth of a network are calculated by the invention as functions of any or all of the following operational parameters which impact performance: distance between transmitter and receiver, physical environment specification, packet sizes, error and source coding schemes, packet overhead, modulation techniques, environment, interference, signal strength, number of users, and for wireless networks, the antenna pattern and type, multipath delay, number of multipath

components, angle of arrival of multipath components, radio frequency bandwidth, protocol, coding scheme, and 3-D location. In order to predict the bandwidth and throughput of a network connection, the appropriate functions and constants may be calculated from the listed parameters and then predicted for each location and time desired.

For a wired network, throughput (T) or bandwidth (BW) may be derived from a vendor's specification sheet of a product or device, or may be measured in a special laboratory setting. Alternatively, T or BW may be calculated through analysis or simulation, or may be measured in the field using a number of known devices. These means may be used to determine the proper value for T or BW in a network prediction enging such as contemplated here. A formula for predicting the throughput and bandwidth for a wireless data communications channel is shown in equation 1.

$$T \text{ or } BW = C_1\left[Ad + Bd^2 + C\right] + C_2\left[D(RSSI) + E(RSSI)^2 + F\right] + C_3\sum_{i=1}^{M}(G_iP_i + K_i) \quad (1)$$

where T is throughput, BW is bandwidth, d is the distance between a transmitter and a receiver. $RSSI$ is the received signal strength intensity, which is the power level of the signal at the receiver, either in absolute values or in logarithmic values. A, B, C, C_1, C_2, C_3, D, E, F, K_i, are constants or may represent linear or nonlinear functions of one or more physical or electrical parameters, such as physical environment type, packet size, modulation, modem type, or other parameters that relate the physical, electrical, or logical environment of the network. These constants or functions take on specific functional values depending upon if T or BW is being solved for. The value M may denote a particular number of multipath components from a particular transmitter, as determined by propagation analysis of the channel, or the term may denote a combination of important multipath components from a collection of transmitters, where the term "important" is based on antenna pattern, physical environment distances, and other wireless propagation factors which are well known to one skilled in the art and which are explained below. The values of G_i and P_i represent gains and power levels, respectively, for each of M different signal components, which may represent individual multipath components or gross signal components from one or more radiating sources, and Ki

represents a finite number of constants or functions for each value of *i*. Note that *Gi*, *Pi*, and the individual *Ki* may be in logarithmic (e.g. dB) or absolute values. These constants or functions in the above equation may be dependant on distance (*d*) between transmitter and receiver where *d* may be the straight-line or actual reflected/diffracted distance of the main signal path between the serving transmitter and receiver, 3-D environment, time of observation or observation interval, noise power, packet sizes, coding scheme, number of users, modulation type, interference, and for wireless networks, may include path loss, multipath delay, number of multipath components, angular spread, strength and angle of arrival of received signals, modulation bandwidth, and other physical, electrical and logical settings of particular equipment in the network, and the constants or functions may be calculated analytically, predicted for an initial guess, or solved using best fit methods between measured and predicted performance of actual networks in a site specific environment.

It is important to note that multipath delay, and its effect on network performance prediction and design, may be considered in many ways, as contemplated by this invention and as shown in Equation (1). First, multipath may be considered individually, whereby each multipath component is considered to arrive from each transmitting device, and the methods for modeling multipath are well known and explained in the prior art, and in numerous research works by Rappaport, et. al. from Virginia Tech. Alternatively, gross multipath effects may be modeled as having a worst-case delay (e.g. propagation distance, *d*) being approximated by the maximum, average, or median length of the specific building or 3-D environment in which the communication network is modeled. Alternatively, spatial considerations may be used by contemplating the antenna patterns of each transmitter or receiver, so that multipath which arrives only in the main beam of each wireless device is considered in the calculation of delay and in network performance in (1). Alternatively, only the strongest one or two or some finite number of transmitters may be considered for multipath propagation delays, whereby only a finite set of transmitters, such as those most closest to the receiver of interest, or those of a certain standard, frequency, or power setting, are considered to radiate multipath energy and produce RSSI values, and from that finite number of transmitters, only the strongest multipath, or the average, maximum, median, or largest few multipath components are

considered in computation of delay. Alternatively, if only a finite number of transmitters are considered, methods described above, such as consideration of the physical environment to determine a gross multipath delay from each transmitter, or the use of a particular antenna pattern to determine most important multipath components, may be used to drive the model of multipath and its impact on network performance. Similar approaches may be used to model the received signal strength, RSSI in equation 1.

Note that the constants or functions of equation (1) may be assigned blindly for initial predictions, and then a specific network within the site-specific environment may be measured empirically so that a best-fit (using a minimum mean square error approach or some other well known method) may be used to assign values for the constants or functions in (1). Note that in (1), the distance (d) may be based on true physical distance from the 3-D site specific model of the environment, or may actually represent a relative distance ratio, where the physical distance between two points is referenced to a convenient close-in free space reference distance, as is customary for propagation predictions, and is taught in (Rappaport, "Wireless Communications, Principle & Practice, Prentice-Hall, 1996)

Propagation delay for network data is predicted for wired networks, where components are interconnected by wire (either fiber or metal wire) by dividing the distance traveled by the propagation speed of the electrical, electromagnetic or optical signals in the device, which are used to transmit the data. For instance, data in a fiber optic cable travels at a speed $2 * 10^8$ meters per second due to dielectric properties of the cable, which affect the photons in a fiber optic cable that are used to transmit the data. Such photons move at the speed of light in glass, which is less than the free space propagation speed. Thus, if the cable is 200 meters long the transmission delay is equal to $1 * 10^6$ seconds. By using the site-specific method of modeling the complete network within the present invention, it is possible for the user to simultaneously visualize the network as configured in the environment and see a display of delay and predicted or measured performance of delay within the cable within the 3-D environment. Additionally, using a tool tip mouse cursor or some other pointing means, or using a pull down menu, or by simply viewing the display device which the invention is implemented

on, various network performance metrics, as well as stored data from the Bill of Materials and parameters of intere may be visualized or stored.

Predicting the propagation delay for a wireless portion of a data communications network is more difficult than wired networks due to the fact that multiple transmitter sources, such as access points in a Bluetooth network, IEEE 802.11b, or wireless ATM network may be transmitting simultaneously. Furthermore, as mentioned previously, multipath interference can create echoes that may or may not be equalized depending on the specific network equipment used at the wireless receiver or transmitter. However, the same calculation model used for wired networks may be used, with the additional consideration of multipath delay terms, and propagation losses or gains, due to specific multipath components, as shown in Equation (1). This additional consideration of multipath delay is needed to account for the fact that wireless data does not always travel in a straight line, and that physical objects can diffract, reflect, absorb, and scatter radio energy. Thus, to calculate the transmission delay of a wireless link in a data communications network, the distance between the transmitter and the receiver is divided by the propagation speed ($3*10^8$ meters per second) of a wireless communications link and then added to the multipath delay introduced by the indirect paths taken from transmitter to receiver as is shown in equation 2.

$$T_p = \frac{d}{3*10^8 m/s} + \tau_d \qquad (2)$$

Where T_p is the propagation delay in seconds, d is the distance between the transmitter and the receiver in meters, and τ_d is the multipath delay in seconds. Predicting the multipath delay is performed using well-known raytracing techniques or based on angle of arrival, or signal strength values, or by making estimated based on the physical model of the 3-D environment.

Transmission delay is directly calculated from the bandwidth of a connection using the number of bits transmitted. To calculate transmission delay, the number of transmitted bits is divided by the bandwidth. This calculation is identical for wired and wireless channels but must be performed separately for each network device. The formula is illustrated in equation 3.

$$T_t = \frac{\#\ of\ bits}{BW} \quad (3)$$

Where T_t is the transmission delay time in seconds, *# of bits* are the number of bits in the transmission or packet and *BW* is the bandwidth of the network link in bits per seconds.

Processing delay must be calculated for each device separately within a network. Processing delay is the time required for a network device to process, store, and forward the data bits that are applied to a network device. Alternatively, processing delay may be the time required for a source to produce a meaningful data stream once it is instructed to do so. Processing delay is known to be zero for devices that do not perform any processing, such as passive network components like cables, antennas, or splitters. Processing time may depend on the packet size, protocol type, operating system, vendor, firmware, hardware, and software versions or configurations, and the type of device and the current computing load on the device. To predict the processing delay of any device it is necessary use a model that accounts for all of these effects. These models may be measured in the field, measured in a test facility, obtained from vendors, or derived from analysis or simulation.

Queuing delay is only applicable to devices that transmit data from multiple users or multiple connections. The queuing delay of a device is the amount of time a particular packet must wait for other traffic to be transmitted. It is difficult to predict the queuing delay of a particular connection because it depends on the amount of traffic handled by a particular device. For this reason, queuing delays can be predicted using a statistical random variable based on the expected performance of the device and/or the expected traffic load. Alternatively, average, median, best or worst case, or some other linear or nonlinear weighting of queuing delay times as defined by the device specifications, or as measured, simulated, or computed by analysis, may be used to calculate a predicted queuing delay time.

Packet latency, round-trip times and handoff delay times are all based on propagation, transmission, processing, and queuing delay times. To accurately predict packet latency and round trip time, the propagation, transmission, processing and queuing delay times must be summed for all network devices in a particular network link and adjusted using the particular traffic type, packet size, and protocol type. For instance,

packet latency is the time required for a packet to travel from transmitter to receiver. To predict packet latency for a particular link the propagation, transmission, processing and queuing delay times must be calculated using the specific network connection, traffic type, and packet size for the one-way transmission of a packet.

Round trip times are calculated similarly, except for the transmission and reception of a packet and the return of the acknowledging packet. Thus, to predict the round trip time, the invention takes into account the original packet size and the size of the acknowledging packet as well as the effects of the specific network connection, protocol and traffic type on the propagation, transmission, processing and queuing delays.

Handoff delay times are based on the propagation, transmission, processing and queuing delays involved in two separate wireless access points coordinating the change of control of a wireless device from one access point to another. These delays result because the two access points must transmit data back and forth to successfully perform a handoff. Thus, the prediction of handoff delay time is similar to the prediction of the packet latency time between the two access points. To predict the handoff delay time, the invention calculates the propagation, transmission, processing and queuing delays for the link between the two access points. The invention then adjusts for the specific number of transmissions required and the size of the data, which must be sent to successfully perform a handoff.

When predicting bit error rates, the invention considers wired and wireless error rates. Wireless networks operate in much more hostile electrical environments than their wired counterparts and their interconnections are significantly more difficult to model and, until this invention, practical networks have not successfully been modeled using specific, accurate physical and electrical models of multiple transmitters, multiple interferers, noise sources, and network components within a 3-D site-specific environment. This invention uses 3-D site specific representations of the environment for specific network implementations that are able to consider both wired and wireless networks, and considers physical locations, electrical specifications and attributes of all radiating sources and their antenna systems in a real-world 3-D environmental model. Wireless networks are prone to data errors much more so than wired channels, due to the impact of multipath propagation, multiple transmitters, and noise, as described

previously. The fact that radio propagation and noise is more random than for fixed wired networks must be considered for practical design, and is modeled in this invention. For wired channels, bit error rates are simply a measure of the electrical, optical and electromagnetic parameters of a connection and are predicted using a statistical random variable, such as a Gaussian or Poisson random distribution, or other sensible distribution or algorithm known now or in the future, and this random variable is overlaid about the average, median, or typical performance of the network component or network subsystem. The network device or subsystem may include a single wireless node, such as a router or switch, or a complete interconnection of various routers, hubs, switches, wireless access points, and wireless client/server devices that communicate with the network. The network may be wired, wireless, or a combination thereof.

Many performance metrics of a device or a network subsystem, such as Frame Error Rate, Bit Error Rate, or Packet Error Rate, as well as other performance parameters such as throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time may be either derived from a specification of the equipment, may be calculated analytically within the invention or inputted into the invention, or may be measured a priori in advance to using the invention. That is, specific parameters of operation, known as operating parameters or equipment parameters, such as those listed previously, can be either measured or predicted through equipment specifications provided by vendors. Alternatively, they may be measured in-situ by a user or research facility, for proper modeling and input into the invention. Alternatively, they may be calculated based on some known analytical model that contemplates interconnection of devices so that a performance model and operating parameters may be computed. The statistical random variable to model network performance within the invention can be dependant on the electrical, optical and electromagnetic characteristics of each device such as voltage levels, power levels, impedance, and operating frequencies, or can be generated using a typical observed (measured) value for each network device. For instance, copper wire can be modeled as having a bit error rate of 1 error in 10^6 or 10^7 bits transmitted. Once measured and

characterized a single initial time, a single component or a string of components within a network may be modeled repeatedly by the invention, so that network performance models

Wireless performance parameters, however, are dependant on many more factors than wired bit error rates. For this reason, the invention predicts wireless bit error rates based on the environment, distance between transmitter and receiver, number and types of partitions obstructing the transmission, time, 3-D position, packet size, protocol type, modulation, radio frequency, radio frequency bandwidth, encoding method, error correction coding technique, multipath signal strengths and angle of arrival, and multipath delay. As a result, the calculation of the predicted bit error rate is performed using constants or functions to convert from previously measured or known channel and network equipment performance metrics to an expected bit error rate. A formulation for predicting the bit error rate, frame error rate or packet error rate directly for a data communications channel is shown in equation 4, and is identical to equation 1.

$$BER,\ PER,\ or\ FER = C_1[Ad + Bd^2 + C] + C_2[D(RSSI) + I(RSSI)^2 + F] + C_3 \sum_{i=1}^{M} (G_i P_i + K_i) \quad (4)$$

where BER is bit error rate, *FER* is the frame error rate, *PER* is the packet error rate, d is the distance between a transmitter and a receiver. *RSSI* is the received signal strength intensity, which is the power level of the signal at the receiver. A, B, C, C_1, C_2, C_3, D, E, F, K_i, are constants or linear or non linear functions with different values depending on which of *BER*, *FER*, and *PER* is being calculated. The value M may denote particular number of multipath components from a particular transmitter, or may denote a combination of important multipath components from a collection of transmitters, where the term "important" is based on antenna pattern, physical environment distances, and other wireless propagation factors which are well known to one skilled in the art and which are explained within this disclosure. The each of M values of G_i and P_i represent gains and power levels, respectively, of different signal components, which may represent individual multipath components or gross signal components from one or more radiating sources, and may be in logarithmic or linear values of power. The variables G_i

and P_i and each one of the M number of Ki values may be in logarithmic (e.g. dB) or absolute values. These constants in the above equation are dependant on distance (d) between transmitter and receiver where d may be the straight-line or actual reflected/diffracted distance of the main signal path between the serving transmitter and receiver. As explained in the text surrounding equation (1), distance may be straight-line distance, or may be modeled from the gross characteristics of the environment, such as the maximum, average, or median length of the 3-D environment. As with equation (1), equation (4) may consider the distance d as the actual physical distance, or as a relative distance referenced to a close-in reference.

Frame error rates, packet error rates and packet drop rates can all be calculated from bit error rates or predicted directly using the same method as for a bit error rate as described above or as modeled in equation 4. To perform these calculations the invention uses information stored in the site-specific Bill of Materials about the packet size, frame size and the protocol in use, and uses a site-specific propagation and interference modeling technique, such as that utilized in the *SitePlanner* product by Wireless Valley Communications, Inc.

In wireless networks, modeling the combined effects of all the various sources of errors is extremely difficult. Not only does modulation and specific error and source coding techniques impact the wireless network performance, but so does the impact of antennas, multipath, noise, voice over IP or wireless ATM concatenation methods, modem design of particular wireless modem makers, and the specific RF distribution system used to connect wired and wireless devices. The ability to model such varied effects can be done by allowing field measurement of specific in-situ network performance as explained earlier. By conducting a walk-through or a drive test whereby a mobile receiver is operated and network performance parameters are measured within the site-specific environment, it is then possible to determine best fits for particular modem manufacturers, applying concepts described in equation 1.

Bandwidth delay products can be calculated by the invention directly using information about any or all of the environment, three dimensional position, protocol type, multipath delay, packet sizes, radio frequency, radio frequency bandwidth, coding, number, strength and angle of arrival of multipath components, signal strength,

transmission, propagation, processing and queuing delay, bit error rate, packet error rate, and frame error rates. Alternatively the invention can calculate the bandwidth delay product indirectly using previously predicted values. A bandwidth delay product is calculated by multiplying the bandwidth of a certain network device by the total delay introduced by that device. Thus, the formula is illustrated here in equation 5:

$$BWD = \frac{BW}{T_{net}} \quad (5)$$

Where BWD is the bandwidth delay product, BW is the bandwidth and T_{net} is the total delay introduced.

The invention uses statistical models of the consistency of data communications network hardware to predict packet jitter and quality of service (QoS). Both of these performance criterions are measures of the reliability of a network to provide consistent data arrival times. Thus, to calculate the QoS or jitter of a connection, the invention uses formulas which include any or all of the environment, three dimensional position, protocol type, multipath delay, packet sizes, radio frequency, radio frequency bandwidth, coding, number, strength and angle of arrival of multipath components, signal strength, transmission, propagation, processing and queuing delay, bit error rate, packet error rate, frame error rate, throughput, bandwidth, and bandwidth delay product. The formulas include constants or functions, which relate the above variables in general to the variation in the arrival time of data and in specific to the QoS and packet jitter of a connection. The present embodiment of the current invention uses equations (1) or (4) to determine QoS and packet jitter for a data communications network.

The preferred embodiment of the invention predictions consider the effects of not just the site specific, floor plan, building layout, terrain characteristics and RF characteristics, but also the effects of the particular network hardware, firmware and software in the network. The invention allows the network to be modeled down to the settings and locations of the individual data communications devices, using the Bill of Materials discussed earlier. The prediction of network performance statistics takes these settings into account. This means that different transport level protocols (such as TCP or UDP), different protocol settings (such as packet and buffer sizes), the data bandwidth (in bits per second), physical layer transmission methods including modulation techniques

(such as QPSK or FHSS), coding schemes (such as CCK or trellis codes), transport media (such as copper, fiber optic cable or wireless connections) and specific frequency bands are taken into account by the invention. These aspects are in addition to the consideration of the location and wireless specific criteria, which includes transmitter-receiver distance (T-R distance), the propagation environment, interference, path loss, number of users sharing the RF resources, multipath delay, the number of multipath components and their strengths and angle of arrival, the ratio of coherent to incoherent power, and the RF bandwidth (in Hz). All of these variables may produce results which may be mapped into the form of equation (1) or (4).

The predictions of the preferred form of the invention consider the characteristics of the data communications network users. Information such as the type of data communications traffic the users offer to the network, the number of users, and the usage patterns over time, are stored in a location specific manner in the invention. That is, points can be placed which represent individual users and the traffic offered by that user or areas in which the characteristics of a group or pool of users can be assigned. The invention takes these points and areas of user traffic into account when making predictions of network performance criterions. This means that if large numbers of users are found in an area covered by access points that are able to adapt to heavy usage, the invention is able to accurately predict the performance of these (or any other) conditions. This is only possible because of the accurate, location specific model of the data communication network. Additionally, since the preferred form of the invention tracks usage patterns of users over time, the resulting measurements may be used by a server processor to form table look-up values for the constants or functions of Equations (1) or (4). Different values of constants or functions for Equations (1) or (4) may be found to predict the performance of the network at different times of day. This is an important aspect of a data communication network prediction model because real networks have peak usage times and lulls in which usage is lower. By tracking the usage of a data communications network over time, the preferred form of the invention can determine if the network will have difficulties at certain times.

In a communications network, the capacity is always a scaled version of the theoretical maximum possible capacity, and the impact of various users, and their

propagation characteristics, message sizes, as well as the network characteristics, all combine to bound or limit the capacity that an individual user sees on a network. Consider a network that has, as a bottleneck, a particular component or device which has a maximum rating of *Tmax* bits per second. This component bounds the maximum possible throughput of the network. Consider that capacity represents the capacity or throughput of a device or network (defined as *T* or *Capacity*), where $T(x,y,z,t) = Tmax[\gamma]$, where γ is a scaling factor that fuses many different, complicated physical, electrical, and logical conditions into a simple value that ranges between 0 and 1. When gamma is 0, there is no capacity. When gamma is 1, there is maximum capacity. Note that *T* is a function of 3-D positioning in the network, as well as a function of time. For a particular user, the goal of a network predictive model is to predict the capacity, as a function of 3-D position and as a function of time. Thus, *T*[x,y,z,t] will range between 0 and T_{max}.

The load put on to a data communications network impacts the capacity of an individual user. The number of users and the usage patterns of each user affect the capacity of each user in a data communications network. The preferred embodiment of the invention allows a network designer to see the effects of network loading on the important network statistics, by measuring the instantaneous traffic conditions with the measurement agents as described above. It is possible to determine in-situ capacity measurements through other means, such as observation from network equipment o reporting mechanisms built into hardware or software products. By forming a table look-up of the specific capacity results, as a function of 3-D site-specific location, as well as the time of day, the invention builds a measurement-based predictive model for capacity. These measurements may be used to form a model of capacity, as now presented.

The invention contemplates the fact that the scaling factor on capacity (or throughput), is a function of the instantaneous number of users of the network, the maximum number of simultaneous users of the network, the average and maximum packet size used by users of the network, and for many other factors that are modem or network or vendor or protocol specific. Also, in the case of a wireless network, the multipath propagation effects, the propagation distances between the user and the wireless access points, and the received signal levels are factors that limit capacity. In

addition, constants or functions that fuse the impact of modulation, equalizations, impulse noise, and other factors, are used in the invention.

Thus, capacity or throughput of a network is modeled by

$$Capacity = C_1\left[Ad + Bd^2 + C\right] + C_2\left[D(RSSI) + E(RSSI)^2 + F\right] + C_3\sum_{i=1}^{M}(G_i P_i + K_i) \quad (6)$$

where the constants or functions of (6) take on similar properties as described for equations (1) and (4). Furthermore, the entire equation (6) may be scaled by K/Umax, where K is the instantaneous number of users on the network, and Umax denotes the maximum number of simultaneous users possible.

Handoff delay times are potential problems in wireless data communication networks. A handoff occurs in wireless data networks when a user moves out of range of one access point and into range of another access point. In this situation, the first access point must pass the responsibility of delivering data to the wireless user to the second access point. If the two access points are too far apart, there will not be enough time for a wireless data network user to be handed off from one access point to another and file transfers can fail. The invention predicts where handoffs will occur and the possibility of handoff failures due to incompatible network settings at two different access points by using site-specific time dependent measurements, and fitting them into a form of equation (1), (4) or (6). Then, a table look up method is used to determine prediction models for handoff times as a function of spatial positioning and time of day.

The concept of optimization is a key aspect of the invention. The preferred invention is highly effective at allowing one skilled in the art to quickly improve the performance of an existing data communications network by comparing measured performance parameters with predicted values that are derived and stored in the invention. The process of using measurements to improve predictions is called optimization and is illustrated in Figure 6, Figure 7, and Figure 8. The method for optimizing a network using just measurements is shown in Figure 6, just predictions in Figure 7, and a combination of measurements and predictions in Figure 8. The process of optimizing a data communications network is accomplished by comparing, through

numerical, visual, or some other means, the predictions and measurements of performance criteria such as throughput, bandwidth, quality of service, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, packet latency, round trip time, propagation delay, transmission delay, processing delay, queuing delay, network capacity, packet jitter, bandwidth delay product and handoff delay time for various site-specific locations and particular times of day. By changing the hardware used in the network, or changing the locations of hardware or the configuration of that hardware, firmware, or software which controls each device within the network, one skilled in the art can improve the performance of the network. These performance improvements can implemented and viewed by repeating predictions of the performance criteria after site-specific equipment changes to the network have been made in the 3-D model of the network. Continuing this process allows one skilled in the art to optimize the performance of a network to achieve an efficient data communications network.

Using this information, the preferred embodiment of the invention can make recommendations for the areas of the network to upgrade or reconfigure. The invention can also use SNMP protocol communications or other protocols to actually implement these changes. That is, a network designer could identify problems in a data communications network through prediction, whereby the prediction of performance criteria of the data communications network is calculated using known measurement data and the configuration and expected performance of all data communications hardware in the data communications network. The predicted performance criterion is stored and displayed visually and numerically in a location specific, three-dimensional model of the environment. Then, the designer can use the invention to identify a solution to the problems that are apparent by viewing the prediction results, either by following the inventions recommendations for changes or making the designers own change. After simulating the predicted outcome, the network designer can then direct the invention to update all the relevant settings of the equipment with the changes the designer has just used in a prediction. The designer could then use the tool to measure the results of these changes using the measurement features of the invention.

While this invention has been described in terms of its preferred embodiments, those skilled in the art will recognize that the invention can be practiced with considerable variation within the scope of the appended claims.

CLAIMS

1. A method for designing, deploying or optimizing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a physical space, said physical space having a plurality of different objects therein each of which has attributes which impact performance of a communications network;

modeling performance attributes of a plurality of different components which may be used in said communications network;

specifying components from said plurality of different components to be used in said communications network;

specifying locations within said physical space for a plurality of different components in said computerized model; and

predicting a performance metric for said communications network which factors in said different objects, said performance metric being selected from the group consisting of throughput, error rates, packet latency, packet jitter, symbol jitter, quality of service, security, coverage area, bandwidth, bit error rate, packet error rate, frame error rate, round trip time, dropped packet rate, queuing delay, capacity, signal level, interference level, bandwidth delay product, handoff delay time, signal-to-interface ratio, signal-to-noise ratio, physical equipment price, and cost information.

2. The method of claim 1 wherein said computerized model generated in said generating step includes objects which create noise or interference, said noise or interference being an attribute of said object which is factored in said predicting step.

3. The method of claim 1 wherein said performance metric predicted in said predicting step is predicted in a forward direction in said communication network.

4. The method of claim 1 wherein said performance metric predicted in said predicting step is predicted in a reverse direction in said communication network.

5. The method of claim 1 wherein said computerized model is three dimensional.

6. The method of claim 1 further comprising the step os specifying data transfer protocol, and wherein said predicting step uses a specified data transfer protocol as a factor in predicting said performance metric.

7. The method of claim 1 further comprising the step of specifying a network loading for said communications network, and wherein said predicting step uses a specified network loading in predicting said performance metric.

8. The method of claim 1 further comprising the steps of

measuring said performance metric for said communications network within said space; and

modifying predictions made in said predicting step based on measurements made in said measuring step.

9. A method for designing, deploying or optimizing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a physical space, and physical space having a plurality of different objects therein each of which has attributes which impact performance of a communications network;

modeling performance attributes of a plurality of different components which may be used in said communications network;

specifying components from said plurality of different components to be used in said communications network;

specifying locations within said physical space for a plurality of different components in said communications network;

predicting a performance metric for said communications network; and

using a table look up to relate empirically measured network performance metrics to a predicted performance metric.

10. The method of claim 9 wherein said performance metric is selected from the group consisting of throughput, error rates, packet latency, packet jitter, symbol jitter, quality of service, security, coverage area, bandwidth, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, queuing delay, capacity, signal level, interference level, round trip time,

bandwidth delay product, handoff delay time, signal-to-interface ratio, signal-to-noise ratio, physical equipment price, and cost information.

11. The method for designing, deploying and optimizing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a physical space, said physical space having a plurality of different objects therein each of which has attributes which impact performance of a communications network;

modeling performance attributes of a plurality of different components which may be used in said communications network;

specifying components from said plurality of different components to be used in said communications network;

specifying locations within said physical space for a plurality of different components in said computerized model;

using a table look up of empirically measured network performance metrics to provide or generate a predication of a performance metric.

12. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

positioning data collection measurement devices within said physical space;

identifying locations within said computerized model which correspond to said measurement devices;

measuring field measurement data with said data collection measurement devices; and

predicting a performance metric for said communications network based on said field measurement data, said modeled attributes for said components, and said locations of said components within said computerized model.

13. The method of claim 12 wherein said computerized model is three dimensional.

14. The method of claim 12 wherein said data collection measurement devices used in said positioning step are portable.

15. The method of claim 12 wherein said positioning step includes of the step of affixing said data collection measurement devices permanently within said physical space.

16. The method of claim 12 wherein said performance metric predicted in said predicting step is selected from the group consisting of throughput, error rates, packet latency, packet jitter, symbol jitter, quality of service, security, coverage area, bandwidth, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, queuing delay, round trip time, capacity, signal level, interference level, bandwidth delay product, handoff delay time, signal-to-interface ratio, signal-to-noise ratio, physical equipment price, and cost information.

17. The method of claim 12 wherein said step of measuring is performed manually.

18. The method of claim 12 wherein said step of measuring is performed autonomously.

19. The method of claim 12 further comprising the step of storing said field measurement data.

20. The method of claim 12 further comprising the step of updating said computerized model generated in said generating step.

21. The method of claim 20 wherein said step of updating includes the steps of:

specifying components from a plurality of different modeled components which are to be used in said communications network, said modeled components including descriptions and attributes of a specific component; and

specifying locations within said physical space for a plurality of different components in said computerized model.

22. The method of claim 21 wherein said step of updating further includes the step of specifying an orientation for at least one component specified in said first specifying step at said location specified in said second specifying step.

23. The method of claim 12 wherein said computerized model in said generating step identifies orientations of said components at said locations within said physical space and said predicting step utilizes said orientations.

24. The method of claim 12 wherein said computerized model generated in said generating step includes objects which create noise or interference, said noise or interference being an attribute of said object which is factored in said predicting step.

25. The method of claim 12 wherein said performance metric predicted in said predicting step is predicted in a forward direction in said communication network.

26. The method of claim 12 wherein said performance metric predicted in said predicting step is predicted in a reverse direction in said communication network.

27. The method of claim 12 further comprising the step of specifying data transfer protocol, and wherein said predicting step uses a specified data transfer protocol as a factor in predicting said performance metric.

28. The method of claim 12 further comprising the step of specifying a network loading for said communications network, and wherein said predicting step uses a specified network loading in predicting said performance metric.

29. A system for analyzing a communications network, comprising:

a computerized model which shows a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

data collection measurement devices positioned within said physical space, said data collection measurement devices being represented within said computerized model at locations that correspond to said data collection measurement devices, said data collection measurement devices measuring field measurement data for said physical space; and

means for predicting a performance metric for said communications network based on said field measurement data, said modeled attributes for said components, and said locations

of said components within said computerized model.

30. The system of claim 29 wherein said computerized model is three dimensional.

31. The system of claim 29 wherein said data collection measurement devices are portable.

32. The system of claim 29 wherein said data collection measurement devices are permanently affixed at said locations within said physical space.

33. The system of claim 29 wherein said performance metric predicted by said means for predicting is selected from the group consisting of throughput, error rates, packet latency, packet jitter, symbol jitter, quality of service, security, coverage area, bandwidth, bit error rate, packet error rate, frame error rate, dropped packet rate, queuing delay, round trip time, capacity, signal level, interference level, bandwidth delay product, handoff delay time, signal-to-interface ratio, signal-to-noise ratio, physical equipment price, cost information.

34. The system of claim 29 further comprising a means for storing said field measurement data.

35. The system of claim 29 wherein said computerized model is stored on at least one server.

36. The system of claim 35 wherein said computerized model is stored on a plurality of servers, said plurality of servers can communicate with each other.

37. The system of claim 36 wherein said plurality of servers have a heirarchical relationship to one another in said system.

38. The system of claim 35 further comprising at least one portable client device, said at least one portable client device can communicate with said at least one server.

39. The system of claim 37 wherein said system includes a plurality of portable client devices.

40. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of a plurality of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

predicting propagation delay information for said communications network based on said computerized model; and

outputting, storing or displaying said propagation delay information.

41. The method of claim 40 wherein at least some of said plurality of components that are modeled in said generating step are used in wireless communications, and wherein said predicting step factors in multipath delay attributable to placement of said components which are used in wireless communications.

42. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of a plurality of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

predicting a performance metric for said communications network based on said computerized model, said performance metric being selected from the group consisting of frame error rate, bit error rate, and packet error rate;

outputting, storing or displaying said performance metric.

43. The method of claim 42 wherein at least some of said plurality of components that are modeled in said generating step are used in wireless communications, and wherein said predicting step factors in multipath delay attributable to placement of said components which are used in wireless communications.

44. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical

space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of a plurality of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

predicting at least one of round trip time and bandwidth delay product information for said communications network based on said computerized model; and

outputting, storing or displaying said at least one of round trip time and bandwidth delay product information.

45. The method of claim 44 wherein at least some of said plurality of components that are modeled in said generating step are used in wireless communications, and wherein said predicting step factors in multipath delay attributable to placement of said components which are used in wireless communications.

46. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of a plurality of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

predicting throughput of network information for said communications network based on said computerized model; and

outputting, storing or displaying said throughput of network information.

47. The method of claim 46 wherein at least some of said plurality of components that are modeled in said generating step are used in wireless communications, and wherein said predicting step factors in multipath delay attributable to placement of said components which are used in wireless communications.

48. A system for analyzing a communications network, comprising:

a computerized model which shows a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of components used in said communications

network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

means for predicting a performance metric selected from the group consisting of propagation delay information, bit error rate, frame error rate, packet error rate, bandwidth delay product, quality of service and throughput of network, said means for predicting making predictions based on said computerized model;

means for outputting, storing or displaying said performance metric.

49. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts propagation delay information.

50. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts bit error rate.

51. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts frame error rate.

52. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts packet error rate.

53. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts at least one of round trip time and bandwidth delay product.

54. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts throughput of network.

55. The system of claim 48 wherein said means for predicting predicts quality of service information.

56. A method for designing, deploying or optimizing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a physical space, said physical space having a plurality of different objects therein each of which has attributes which impact performance of a communications network;

modeling performance attributes of a plurality of different components which may be used in said communications network;

specifying components from said plurality of different components to be used in said communications network;

specifying locations within said physical space for a plurality of different components in said computerized model;

using a table look up of predicted or preset performance metrics to provide or generate a prediction of a performance metric.

57. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

identifying locations within said computerized model which correspond to said measurement devices;

downloading or inputting files of field measurement data; and

predicting or providing a performance metric for said communications network based on said field measurement data, said modeled attributes for said components, and said locations of said components within said computerized model.

58. The method of claim 57 wherein said field measurement data obtained in said downloading or inputting step is specific for said physical space.

59. A method for analyzing a communications network, comprising the steps of:

generating a computerized model of a communications network within a physical space in which said communications network is or will be deployed, said computerized model identifying locations within said physical space of a plurality of components used in said communications network, said computerized model having modeled attributes for each of said components;

predicting quality of service information for said communications network based on said computerized model; and

outputting, storing or displaying said quality of service information.

60. The method of claim 59 wherein at least some of said plurality of components that are modeled in said generating step are used in wireless communications, and wherein said predicting step factors in multipath delay attributable to placement of said components which are used in wireless communications.

Figure 1: Example transmission of data over a communications network

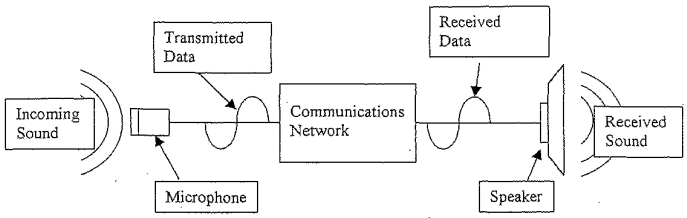


Figure 2: Creation of a digital signal from an analog signal

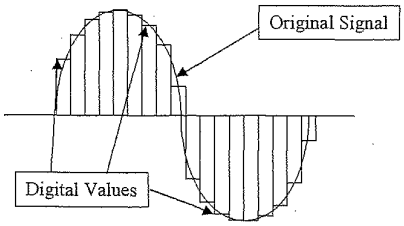


Figure 3: Illustration of the difference between bits, packets and frames.

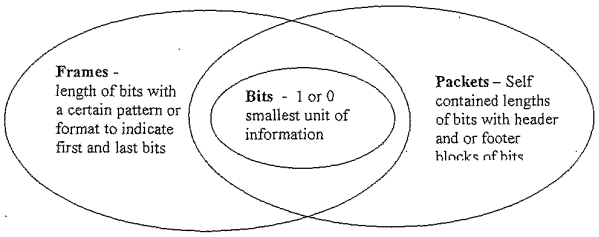


Figure 4: Illustration of the data displayed in each node of the Tree View of a data communications network.

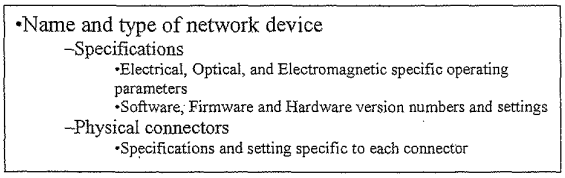


Figure 5: Method for creating a 3-D site specific model of the environment

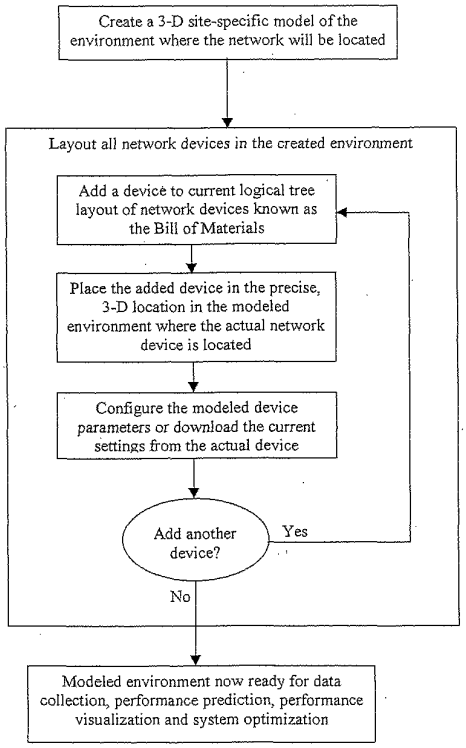


Figure 6: Method for optimizing a data communications network using predictions

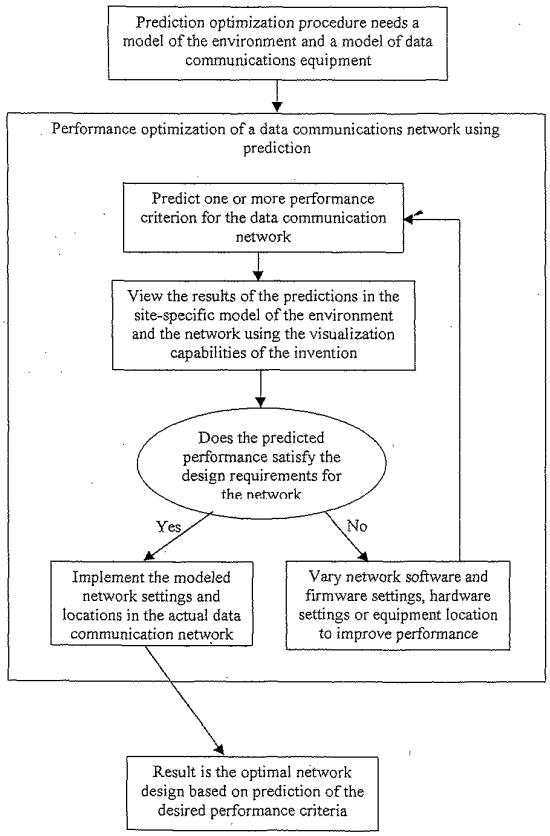


Figure 7: Method for optimizing a data communications network using measurements

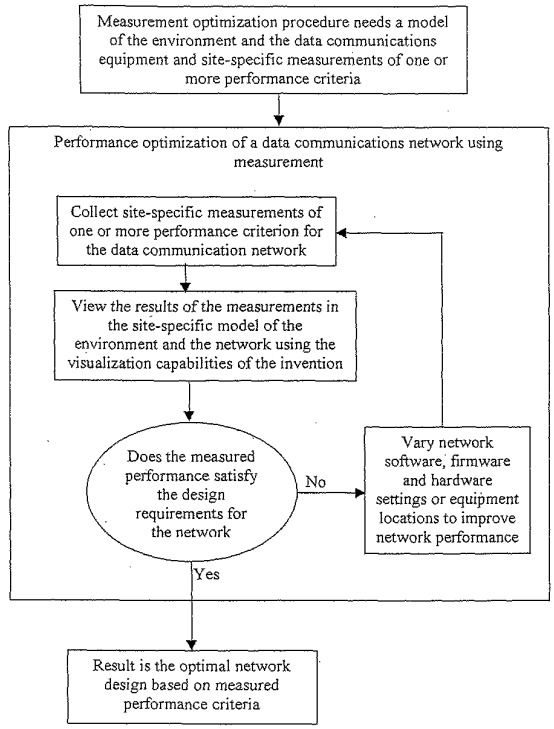
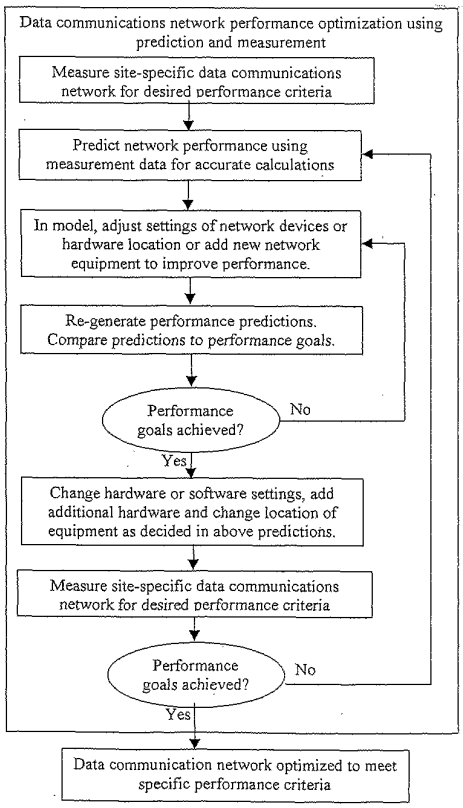


Figure8: Method for optimizing a data communications network using predictions and measurements.



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US01/29419

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(7) :G06F 17/50; G06G/7/62
US CL :703/13
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
U.S. : 703/13

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EAST, IEEE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y, P	US 6,311,144 B1 (ATA et al.) 30 October 2001, abstract, figures 1-7, 9 and corresponding text.	1-60
Y	US 6,104,699 (HOLENDER et al.) 15 August 2000, figures 1-2, 4-6 and corresponding text.	1-60
Y	US 6,018,625 (HAYBALL et al.) 25 January 2000, abstract, figures 13-14, 51-53 and corresponding text, col. 17, line 64 to col. 18, line 42.	1-60

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

*	Special categories of cited documents:	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E"	earlier document published on or after the international filing date	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"	document member of the same patent family
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 16 DECEMBER 2001	Date of mailing of the international search report 15 JAN 2002
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer HUGH JONES Telephone No. (703) 305-9704

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)*

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 ラッパポート、セオドア
アメリカ合衆国、バージニア州 ２４１５３、セイレム、ペンドルトン ドライブ ８１６番地
(72)発明者 スキッドモア、ロジャー
アメリカ合衆国、バージニア州 ２４０６０、ブラックスバーグ、アパート ５０２、ハント クラブ ドライブ ５１０番地
(72)発明者 ヘンティ、ベンジャミン
アメリカ合衆国、バージニア州 ２４０６０、ブラックスバーグ、アパート ６２００Ｃ、ハント クラブ ロード ３１３番地

Ｆターム(参考) 5B046 AA00
5K030 HA08 JA07 LE16 LE17